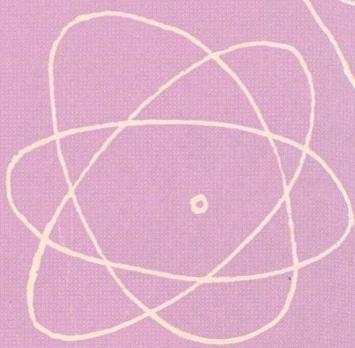


湯友生大可移記

物理
探奇

張時譯



湯先生奇遊記

物理
探奇

張
時
譯



拾穗譯叢 翻印必究
湯先生奇遊記

編譯者：張 時
出版者：拾 穗 月 刊 社
印刷者：高雄煉油廠印刷工場
定 價 每冊新台幣 十五 元
中華民國五十八年十二月初版
譯叢編號一〇〇七七

第一章	市區的速度限制·····	一
第二章	使湯先生入睡的相對論演講·····	八
第三章	湯先生渡假記·····	一七
第四章	彎曲空間，重力與宇宙的演講·····	二七
第五章	脈動的宇宙·····	三八
第六章	宇宙歌劇·····	四七
第七章	量子檯球·····	五五
第八章	量子森林·····	七一
第九章	麥斯威爾的魔鬼·····	七八
第十章	快樂的電子部落·····	九一
第十一章	湯先生入睡時漏聽的演講·····	一〇四

第十二章	原子核內·····	一〇九
第十三章	老木刻師·····	一一七
第十四章	無中之洞·····	一三一
第十五章	日本料理·····	一四〇
附：		
極微物理世界的真相·····		一四九

湯先生奇遊記

第一章

市區的速度限制

George Gawow 著
張 時 譯

湯先生是一所大市立銀行裡的小職員。這天銀行放假，他睡到很晚，起身後吃了頓從容悠閒的早餐。爲了要計劃如何消遣這個假日，他先想看看報上的下午電影廣告，打開早報，翻到娛樂版。可是對報上的影片他全無興趣，他討厭好萊塢那些男歡女愛庸俗明星主演的愛情片。假如能有一部帶些真正歷險的影片，裡面有些不平常甚至於稍稍怪誕的電影該多好。可是一部都沒有。

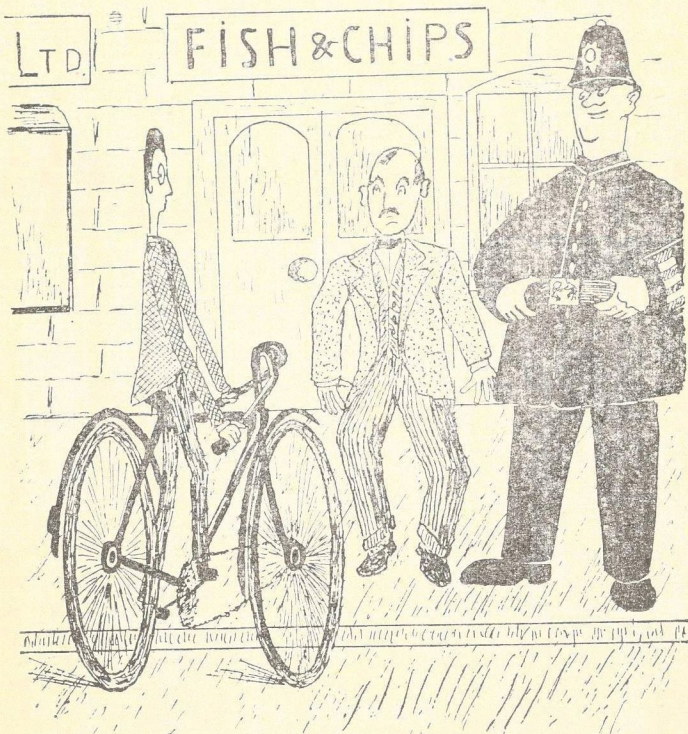
這時，他忽然看見報屁股上的一幅小廣告。市立大學正舉辦一連串的演講，討論現代物理問題，今天下午的講題是愛因斯坦的相對論。哦，這倒是件好消息！他常常聽人說，世界上只有一打人士真正了解愛因斯坦的理論。也許他可以成爲第十三個！他非去聽演講不行，這正是他心中所想的。

他到達大學禮堂的時候，演講已開始了。裡面坐滿了學生，大多數都很年輕，注意地聆聽講台上黑板前面的高高白鬍子教授在解釋一些相對論的基本理論。不過湯先生到目前為止，對愛因斯坦的理論只知道光速是最大速度，任何物體運動的速度都不可能超過它；因為這個理論才導引出許多奇怪而不平常的結論。教授說：因為光的速度每秒十八萬六千哩，所以由普通現象中看不出特別效應來。而且這些特別效應實在相當難以了解，在湯先生看來，簡直與常識互相矛盾。他也曾經努力在心中體會測量杖的縮短與鐘錶的奇異屬性——可是它們必須以近光速度運動時才可能看得出來——不過他想到深處時，頭已經垂到肩上了。

當他睜開眼睛時，他發現自己不是坐在講堂凳子上，而是坐在市政府公共汽車站旁邊的候車凳子。這是個美麗的古域，街道兩旁是些中古時代的大學建築。他懷疑自己是否置身夢中，但是却驚異地發現周圍並沒有特別的反常現象。甚至於街角站的一個警察也跟真的警察一模一樣。街道下方高塔的大鐘正指着五點，街道幾乎空曠無人，一個人騎着腳踏車慢慢沿街而來，當他近來時，湯先生大吃一驚，眼睛睜得老大。因為那個年青人和腳踏車都順着運動方向縮短了不少，就好像由哈哈鏡裡看過去的一樣。塔上的鐘敲了五下，騎車的青年顯然有急事，重重地踩着踏腳。湯先生發現他並沒有增加多少速度，可是他的身體更加扁了，就像用黃紙版剪的人似的。這時湯先生恍然大悟並且感到得意揚揚，因為這是剛才所聽的運動物體的縮短。「顯然自然界的速度限制在這裡比較低，」他下個結論。「所以街角的警察比較悠閒，因為他不必注意高速的車子。」這時一輛計程車帶着轟隆巨聲搖擺而過，可是比起腳踏車却快不了多少，湯先生覺得剛才那個腳踏車騎士是個好人，便決定趕上去問個明白。乘着那個警察轉頭沒看別處時，他在人行道上借了部腳踏車，一溜煙地向街尾趕

下去。他以爲他的身體立刻會縮短壓扁，而且十分得意，因為他最近身體越來越發福使得他相當愁悶。可是結果他却大感意外，他和腳踏車一點都沒有改變。反之，周圍的一切景象却完全變了樣子。街道變短，商店的窗戶，都縮成了細縫，街角上那個警察成了世界上第一號瘦子。

「天老爺！」湯先生驚呼起來，「我這下才弄清其中奧妙。原來相對論便是如此這般的。不管是誰踩腳踏車，只要和我有相對運動的東西便會縮短！」他一向騎腳踏車的技術十分高明，以爲只要加上點力，便會輕易地趕上那位年青人



扁了的騎士

。可是他立刻發現要使車子加快卻並不簡單。他使盡全身力量重重地踩着踏腳，可是速度幾乎沒有增加。他的腿都踩痛了，可是車子仍是慢吞吞地，還沒到達街角的電燈桿。看上去，他已經精疲力竭了毫無所得。他現在才知道為什麼方才計程車和腳踏車都走得那麼慢，這時他又記起方才教授所說任何速度不可能超越光速的話來。他注意到城市的一區區房屋變得更狹，而前面的腳踏車已經距他不遠了。他在第二個轉彎的地方趕上那輛腳踏車，當他們並肩齊驅了一會後，他發現對方是位非常正當而且身體健康的青年。「哦，這一定是因為你我之間沒有相對運動，」他最後對青年說。

「對不起，先生。」湯先生又說。「你覺得生活在這麼個車速限制很低的城市裡，有沒有什麼不方便？」

「車速限制？」對方驚訝地反問。「我們這裡沒有速度限制。我可以盡快地到每個角落去，

至少等我有部好摩托車來代替這輛腳踏車的時候！」

「可是剛才你由我身邊過去的時候，速度非常慢，」湯先生說。「我對你特別注意。」

「是嗎，啊？」年青人感到點奇怪地說。「可是你一定沒注意到由剛才見面到現在已經相隔五條街了。那還不夠快嗎？」

「不過街道都變短了，」湯先生辯着說。

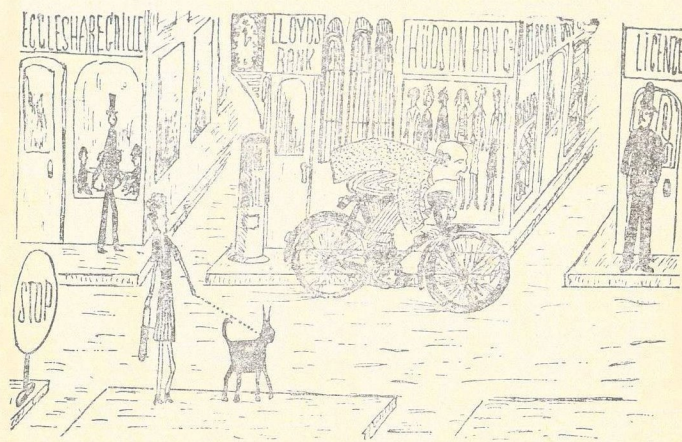
「我們走得快也好，街道變短也好，那有什麼關係呢？我到郵局去要經過十條街，如果我用力踩車子，街道就變短了，我就可以到得快些。哦，我到了。」年青人說完下了車子。

湯先生望望郵局的時鐘，上面指着五點半。「唉！」他得意地說：「你看，半個鐘頭走了十條街，我第一次看見你的時候正好五點。」

「你說真有半個鐘頭嗎？」同伴問他。湯先生也不能不承認這段時間好像只有幾分鐘。他低頭看看手錶，可不是嗎，五點鐘才過五分鐘。「啊！」他說：「是不是郵局的鐘快了？」

「當然是，否則就是你的錶太慢；因為你走得太快了。你到底是怎麼回事？你是由月亮上掉下來的嗎？」年青人說完走進郵局去。

經過這一會的談話之後，湯先生心理覺得不能請老教授來解釋這些怪事可算是十分遺憾。年輕人是當地人，他自學會走路後便對這種事已經司空見慣了。所以湯先生只好獨自在這個奇異的天地中摸索。他把手錶向郵局時鐘對準後，又等待十分鐘，看它是不是走得很好，他的錶一點都沒錯。他繼續沿着街道走下去，最後等到看見火車站時，他又下來對對錶。這次又慢了一點「哦，這一定是因為相對效應，」湯先生心裡想；決定找個比騎車青年更聰明的人來問個究竟。



房屋縮得更短了

機會立刻到了。一位四十來歲的紳士由火車上下來。向出口走來，一位老太太在門外接他，湯先生簡直不相信自己的耳朵，那老太太居然稱他爲「親愛的祖父」，湯先生實在無法再忍受下去，他以幫助提行李的藉口，開始談話了。

「對不起，我實在不是要干涉你們的家事，」他說：「可是你真是那位好老太太的祖父嗎？你知道，我是個外地人，我從來沒……」

「哦，我明白了，」紳士笑着說：「你一定把我當作猶太浪人什麼的了，不過這件事非常簡單。我的事業使我非常常出去旅行不可，結果我大半生時間是在火車上，當然我比住在城裡的親屬要老得慢了。我回來能看見我親愛的小孫女兒還活着，令人高興！對不起，我該上計程車去陪她了，」他連忙離去，剩下湯先生一個人在那裡發呆。他在火車站邊的食堂吃了幾塊三明治後，覺得力氣精神都好了些，然而到目然爲止，他仍然自以爲他發現了相對論裡的一些破綻。

「是，一定是，」他一邊喝咖啡一邊想：「如果一切事物全是相對的，旅行的人在親屬面前，是個老人，而他却覺得親屬們比他更老，雖然双方面部能相當年輕。我現在要說一句絕對的廢話：一個人總不可能有相對的白髮！」所以他決定作一次最後的努力以查個水落石出，於是他轉向食堂裡坐着的一位鐵道局職員。

「先生，希望你不見怪，」他說：「你能不能夠見告爲什麼火車上的旅客比城裡人老得慢的理由？」

「理由在於我，」那人簡單明白地答。

「啊！」湯先生驚呼起來。「那麼你一定解答上古煉金家的哲人石問題。你一定是中古世界的

名人，你是不是負責本市的醫療」

「不，」那人嚇了一跳，連忙回答。「我只是這條鐵路的煞車手。」

「煞車手！你是說一個煞車手……」湯先生簡直像是陷入深淵似地驚叫起來。「你是說……你只是在火車進站的時候把煞車桿拉下來？」

「是，那是我的工作；每次車子慢下來的時候，旅客對其他人而言是在增加年齡。當然，」他又謙虛地說：「司機使火車加速度也不過同樣地在盡責工作而已。」

「可是那和年青不老有什麼關係？」湯先生至感意外地問。

「噢，我也不太清楚，」煞車手說：「不過事實如此。我有一次請教過坐我火車的大學教授，他說了一篇我根本不懂的道理，最後他說那是什麼等於『太陽重力紅移』的玩意——我記得他是那麼的說。你可曾聽說過什麼紅移的話嗎？」

「沒——有，」湯先生有點猶疑地說；這時煞車手搖着頭走開去了。

忽然間，有隻大手搖他的肩膀，湯先生發現自己並不是坐在車站餐館裡而是坐在方才聽教授演講講堂的椅子上。房中光線幽暗，空無一人。搖醒他的工友對他說：「先生，我們要關門了。你要睡覺，請回家去吧。」

湯先生站起來，向門口走去。

第二章

使湯先生入睡的相對論演講

湯先生去聽第二次講演

諸位女士先生們；

在人類思想發展的原始階段，便形成了若干時間空間的絕對觀念以容納各種事件的發生。那些觀念一代又一代地傳了下來，其中的變更非常有限；又由於一些精準科學的發展，這些觀念便形成了宇宙的數學描述的基礎。偉大的牛頓也許是將古典時空觀念予以公式化的第一人。他在原理一書中寫著：

「絕對空間具有其內在特質，與外在任何事物無關，永遠相似而且不可移動；」以及「絕對，真實與數學的時間，具有本身特質，均銜地流逸，與外界任何事物無關。」

對於這種古典時空絕對的正確性的信念十分堅固，所以一般哲學家認為它們是「前在」的，沒有一位科學家膽敢加以懷疑。

不過到了本世紀初，一些物理學家以精細的方法與實驗，獲得了一些古典時空觀念的範疇所無法解釋的結果。這個事實使得當代最偉大的物理學家愛因斯坦創出一個革命性的觀念，他認為沒有理由（除了古典學派的學說認為時間乃是絕對真理者以外）不可以改變古典學說以容納新的與更

精確的實驗結果。事實上，因為古典的時空觀念是建於一般人對日常生活的經驗。而今日基於高度發展的實驗技術得到的精確觀察方法指示出舊的觀念過於粗糙與不完整，是不足為奇的。而且那些舊的觀念可以運用在物理學進步的初期與日常生活上，只不過因為它們與正確觀念間的偏差十分微小而已。另有一點也是不足為奇的；現代物理學的探索領域推廣將把吾人帶到一與實際偏差過大而不能使用古典觀念的境界。

對古典觀念作基本批判的最重要實驗結果乃是「發現在真空中的光速代表了所有可能物理速度的上限」。這項重要而且出人意外的結果，主要是來自美國物理學家邁柯生 (Michelson) 的實驗。他在上世紀末試圖觀察地球在光傳導速度中運動時，所生的效果時，發現這項使自己意外也使世人驚訝的事實；他發現並無任何效應，而且在一個真空裡的光速永遠獨立與測量系統和光源的運動沒有關連。我們用不着解釋說這個結果非常特殊而且和我們對運動的基本概念互相矛盾。事實上，如果有件物體由空間迅速運動而來。而你自己向前去迎接它，則運動物體將以更大相對速度觸碰你，這速度等於物體與你的速度和。反之，如果你背它而去，它將在背後以較小速度碰及你，那速度等於二速度之差。

再進一步說，如果你坐在一輛運動的車子裡，面向空氣中傳播而來的聲音，在車中測得的車速應當是音速加車速，而相背而行時應該是音速減車速。我們稱之為速度加減原理，它一向是被證實無誤的。

然而又由最仔細的實驗中，我們發現在光速中却不然。真空中的光速永遠恆等於每秒三十萬公里（我們通常以C代表之），不論觀察者本身如何運動，其值不變。

「是的，」也許你會說，「但如接連着幾個小速度不可能得到一個超光速的速度嗎？」

例如，我們考慮一輛疾行的火車，其速度假設是四分之三光速，而有一個旅客以四分之三的光速速度在車頂上快跑。

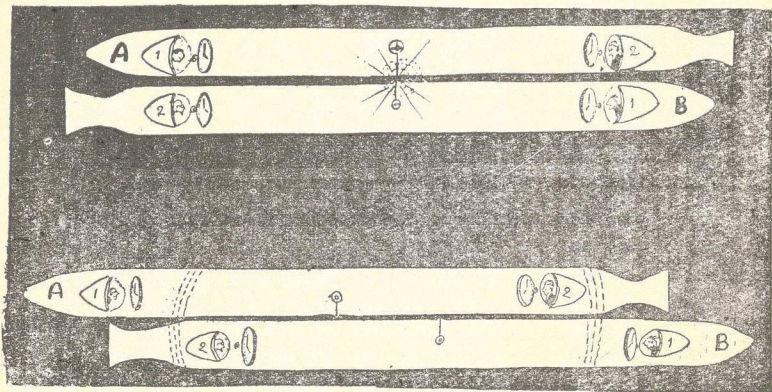
根據加減理論，總速度應該是光速的一倍半。而那位奔跑的旅客應該趕得上一盞信號燈上發出的光束。然而光速定值已經是個實驗出來的定論，所以上例所得的總速度要比我們預料的要小上許多——它不能超過極限速度C；而且我們也得到一個結論，古典的加減原理一定是錯誤的。

這個問題的算試，我不願在這裡詳加引伸，但是我們對兩個相對運動的總速度可以用一個新的算式來加演算。

如果 V_1 和 V_2 是兩個要相加減的速度，那麼其合速度應該等於

$$V = \frac{V_1 \pm V_2}{1 \pm \frac{V_1 V_2}{C^2}} \quad (1)$$

由這個公式中可以看出來，如果兩個速度很小，所謂很小是指與光速相比，那麼①式中 $\frac{V_1 V_2}{C^2}$ 的可以忽略不計而消去，則



相對而動的兩個大平台

古典的加減原理仍然可以存在。可是 V_1 和 V_2 假如並不小，而結果仍比算術的和為小。以我們那位在車頂上奔跑的旅客來說， $V_1 = \frac{3}{4}C$ 而 $V_2 = \frac{3}{4}C$ ，由①式計算結果，合速度 $V = \frac{24}{25}C$ ，它仍然比光速為小。

另舉一個例子，如果其中一速度等於C，那麼第①式中的合速為C，

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{C+V_2}{1+\frac{CV_2}{C^2}} &= \frac{C+V_2}{1+\frac{V_2}{C}} = C \\ \frac{C+V_2}{1+\frac{CV_2}{C^2}} &= \frac{C+V_2}{\frac{C+V_2}{C}} = C \end{aligned} \right\}$$

不論第二速度為何，所以式中以任何速度代入，得不到超光速的合速度。

也許諸位有興趣想知道這個公式如何加以實驗，而證實兩個速度的合速度永遠較其數學和為小

明乎速度上限的存在，我們可以開始批評古典時空觀念，來集中力量打擊根據那些觀念的「同時」觀念。

當你說，「開普頓附近的礦坑爆炸正和你在倫敦寓所吃雞蛋火腿是同一時刻，」你以為這句話說得頗有道理。我現在要向你說明，嚴格說來，這句話說出來並不能表達出正確的意義。實際上你什麼辦法來了解兩地的兩件事是不是同時發生的呢？也許你會說兩個地方的時鐘正指着相同時刻；但是另一個問題隨之而起，如何校正這兩個相距甚遠的時鐘使它同時表示出同一時間，這時，我們又回到原來的問題上。

既然在真空中的光速與其光源運動和測量系統沒有關係，已經是項經準確實驗的事實了。下面是一個測量距離以及校準兩地時鐘的最合理的辦法，等諸位仔細想想之後，應當也可以相信吾言不虛。

由A站發出一個光信號，由B站一接受後，立刻又發回A站。在A站所讀出的時間代表信號的發出與收回時間，乘以光速常數，再以二除之便等到A、B二站間的距離。

如果信號到達B站時，當地時鐘正是A站發出信號與收回信號兩個時間的平均數時，那麼我們可以說A、B兩站的時鐘已經校準了。在幾個固定的觀察站間，利用這個方法，我們最後可以得到一項所要的參考標準，而且可以回答兩地兩事是否同時發生抑或相隔若干時間。

然而使用其他系統，是否能觀察得同樣結果呢？要回答這個問題，我們先假設這種參考標準乃是建立在兩個不同的實體上，譬如說兩個長長的太空火箭A和B以一定速度相背而馳，現在讓我們來看兩個物體如何互相校正。如果四個觀察員 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 各自安置在每個火箭的前後端，首先他們希望把手錶校準。每一對觀察員都可以用上述方法稍加修改後在火箭內校準，先在火箭中央發個光信號，又在錶上校好零點。這時信號由中央向兩端送出。根據我們上述的解釋，每一對觀察員都已經定下了自己系統內的同時時間標準，並且他們的手錶指針也「切合」他們的觀點。

現在，他們想知道他們的時間是不是也和另一支火箭上的時間互相吻合。例如，是不是當兩支火箭相遇而過時，觀察員的指示時間完全相同？這點可以下述方法試出來：在每個火箭的幾何中心裝設有兩根充電的導線，當火箭相遇而過時，導線間有火花跳過，而兩個光信號同時由中央向火箭前後傳去。當光信號以一定速度抵達觀察員時，火箭已經改變了相對位置， A_2 和 B_2 的觀察員比 A_1

和 B_1 觀察員更接近光源一些。

顯然當 A_2 觀察員接到信號時， B_1 觀察員已在較遠處，所以信號需要多些時間才能傳到他。如此，若 B_1 的手錶在信號抵達時校為零，那麼 A_2 觀察員會堅持說它的時間比標準時為慢。

同樣，另一位觀察員 A_1 得到個結論，說比他先接到信號的 B_2 的錶快了。因為依照他們的「同時」定義，他們的錶已經校準了，那麼A火箭上的觀察員會同意說B火箭上兩觀察員的錶有了誤差。由同樣推理，我們知道B火箭上的觀察員認為A火箭上兩位觀察員的錶有誤差。

因為兩個火箭都完全相似，所以兩組觀察員間的爭執只有一個解釋，就是說兩組觀察員各自觀點看去都是對的，關於誰是「絕對」準確的時間，已經沒有物理意義了。

也許上面這段考慮的話會使各位感到煩倦，不過諸位如果仔細地聽了我的解釋，你們就會得到清楚的觀念，當我們採用時空測量方法後：「絕對『同時』的觀念消失了。不同地點發生如果用一個標準來衡量，它是同時的。如果以另一標準來衡量，其中便有一定時間的差距。」

這段敘述看上去頗不平常，然而我換種說法，諸位便會覺得並不奇怪了。如果你在火車上進餐，你喝湯吃甜點，全在車箱內的同一地點，但是却是在鐵軌上不同的地方。由這個舉例，我們可以歸納成一個原理：「在我們的參考標準中，同一地點在不同時間中發生兩件事，如果以另一參考標準言，則兩件事之間便有一定之空間距離。」

如果用這個「平凡」的命題與方才令人「困惑」的命題相比較，你們可以看見這兩個原則是完全相對稱的，只要將時間空間互相替代，兩個句子便可以互變。

下面是愛因斯坦的觀點全貌；在古典物理學中，時間是獨立於空間與運動之外者；正如牛頓所

說，「時間均衡地流逝，與外界任何事物無關。」而在新物理學中，時間與空間密切地連續在一起，只是一個均勻「時空結構」的兩個不同截面，一切事件都發生在這個「時空結構」中。要將這四度結構分為三度空間及一度時間，完全是人為的，而且要視觀察者所賴的標準而定。

兩件事，如以一個標準言，其空間距離為 L ，時間間隔為 t ，如以另一個標準看，則被距離 L' 及時差 t' 所分開，因此由某種立場言，一個人可以討論將時間移變為空間，或將空間移變為空間。由時間變為空間，是並不難了解的，正如方才所舉的火車上用餐的例子證明，對吾人可以算是常見的事實。而將空間轉變為時間，形成了「同時」的相對性，似乎非常特殊。結果我們測量距離本來是用「厘米」，但是相當的時間單位並不是「秒」，而是一項「合理的時間單位」，即是光線行過一厘米距離所需要的時間，即： $0.000,000,000,03$ 秒。

所以，我們通常經驗的範圍中，將空間距離變化為時間距離的結果是難以觀察的。因為在古典物理學中，時間是絕對獨立而且不可改變的。

當我們注意極高速的運動時，例如放射體發出的電子運動或原子內的電子運動，一定時間內所行經的距離，其數值與以合理單位所表示的時間相當。研究者必然會遇見上述的兩種效應，而相對論原理變得十分重要。甚至於在速度較小的區域中，例如我們太陽系的行星運動，以極精密準確的天文測量可以測知其相對效應；不過這種測量其相對效應需要測知行星運動的變化，達到每年一單位角秒的幾分之一。

我在這裡想向諸位解釋，對時間空間觀念的批評得到一個結論；空間距離可以一部份變為時間差距，反之亦成立。這表示一定距離或一定時間的數值將隨不同運動的系統而測出不同的數值。

這個問題相當簡單的數學分析，我在此不準備詳加演算，可以得到一個那些數值的變化公式。任何長度為 L 的物件，以 v 速度向觀察者作相對運動時，將發生視速度而不同的縮短，其測得之長度為：

$$L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (2)$$

由上述可知，任何過程使用時間 t ，如果由相對運動的系統上觀察，將需要較長時間 t' ，則

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

這便是相對論中著名的「空間縮短」與「時間延伸」原理。

在平常， v 比 c 小得多，則上述效應也非常小，但是在相當大的速度中，由另一運動系統中觀察，則長度變得很小，而時間則變得很長。

我希望諸位不要忘了這兩種效應乃是絕對對稱系統。當一輛疾駛火車上的乘客懷疑車站上站的人何以那麼瘦，動作那麼慢時，而站立的人對火車上的乘客也有同樣看法。

速度的最大限制的另一項重要影響是對運動體的質量。根據一般力學基礎，一個物體的質量決定其開始運動與加速度的「難易」質量越大，增加速度越困難。

任何物體在任何情況下不可能超過光速的事實，使我們得到一個結論：物體對增加的速度有種抵抗力；換言之，當速度接近光速時，質量的增加將達到無窮大。這種依存關係經過數學分析可得

到一式，它與②③式相似。如果 M_0 代表很小速度時的質量，則速度 v 時的質量 M 爲：

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

當 v 接近光速時，對再加速度時的抵抗力將爲無窮大。

這種質量的相對變化效應可在高速質點的運動中容易地觀察出來。例如放射體放出的電子質量（其速度數爲光速的百分之九九）要比靜止狀況的電子質量大上幾倍，而所謂宇宙線的電子質量（其速度達光速的99.98%）則要大上千倍。這些質量變化是古典物理學所無法解釋的，而也因此，我們進入了純粹相對論的範疇。

第三章

湯先生渡假記

湯先生對於在相對城的奇遇感到十分有興趣，但是遺憾的是那位教授不能在他身邊解釋那些奇怪的事：特別有那位鐵路煞車員能夠使乘客年輕不老的神秘一直令他心內不安。許多夜晚他在入睡，都希望能再見到那個有意思的城市，然而結果却做了些稀奇而且非常不愉快的夢；昨天晚上是因爲他弄錯了賬目而被銀行經理開除掉……他決定休假幾天，到海邊什麼地方去逍遙個把禮拜。於是，他發現自己坐在一輛火車上，望着窗外的灰色屋頂慢慢讓住給郊外的青葱原野。他拿起張報紙，想注意越南大戰的消息。可是這些事實在也索然無味，而火車愉快地輕搖着他……

他放下報紙，又望向窗外，窗外景色又變更了。電線桿靠得非常近，簡直像是一片籬笆，樹木的葉冠部份變得很窄，有如意大利的柏樹。坐在他對面的是教授老朋友，也興趣津津地看着窗外。他大概是湯先生看報紙的時候進來的。

「我們到了相對地區，」湯先生說：「對不對？」

「哦，」教授說：「你已經知道那麼多了，你在那裡學來的？」

「我到這裡來過一次，不幸的是沒有你和我在一起。」

「那麼，這次你可以替我當嚮導了，」老人說。

「我想不行，」湯先生拒絕了。「我看過許多異常的事，可是和我談話的當地人對於我煩惱一

點都不明白。」

「理所當然的，」教授說：「他們生在這個地區，所以認為他們週圍所發生的現象全是天生自然的。不過，如果他們一旦走進你所生活的世界來，却免不了大驚失色。在他們看來實在太異常了。」

「我可以問你一個問題嗎？」湯先生說：「上次我到這裡的時候，我遇見一個鐵路的煞車手，他說是因為他的工作，使車子停止又起動，在車上的乘客比城市的人民衰老得慢。這是神秘的事呢？還是在現代科學中也解釋得通？」

「現在已經不能用神秘兩個字來作無法解釋的藉口了，」教授說。「這個人的話完全依據物理學法則。愛因斯坦曾經表示，他新的時空觀念（這件亘古已存的事實只不過新被發現而已）的分析基礎是說所有物理系統在其速度改變時，其過程會緩慢下來。在我們的世界裡，這種效應小得無法觀察，但是在這裡，因為光的速度較小，則效應便變得顯明。例如，你在這裡煮個雞蛋，不把鍋穩穩放在爐上，卻不斷在爐火上來回搖動，不斷地改變它的速度，那麼煮好一個蛋可能需要五六分鐘以上。在人體內也一樣，所有過程都慢了下來，舉個例子說，如果一個人坐在搖椅上或是在火車上，速度經常在改變，在這種情況下我們生命進行得更慢。不過，所有過程緩慢的程度都一樣，所以物理學家們說：「在不均勻運動系統中時間流逝得較慢。」

「在我們的世界裡，物理學家是否真正觀察到這種現象？」

「是的，不過需要相當技巧，在技術上要得到必需的加速度是相當困難的，不過在一個非均勻運動系統中的狀況和一個很大重力作用的經過是類似，甚至可以說是相同的。你可能注意到，當

你在電梯裡，它迅速向上加速時你會覺得你體重增加，當電梯開始下行（最好是纜索突然斷了）你會以為體重減輕。這可以表明由加速度而生的重力場應當與地球重力相加或相減。在太陽上的重力勢能比地球上大很多，所以上面的一切過程都比地上要慢一點。天文學家已經觀察到這點。」

「但是他們能到太陽上去觀察嗎？」

「他們無需到太陽上去。他們觀察太陽傳來的光。光是因為太陽表面上不同原子的振動而發出來的。如果所有過程緩慢，那麼原子振動的速度也減小，人們只要比較太陽發出的光和地上光源的光便可以看到其中差異。哦，你知道，」教授自己打斷說：「我們經過的這個小站名叫什麼。」

火車正沿着一個鄉村小站的月台駛過去，月台上除了站長和一個坐在行李車上看報的腳夫外別無他人。忽然站長向天揮下手，仆倒在地上。火車聲音太大，湯先生沒有聽見他的喊聲，但是站長身邊有一灘血是無可疑問的。教授立刻拉下緊急索，火車猛抖停了下來。當他們跑下車時，年輕腳夫跑到站長旁邊，這時一個警察也走了過去。

「射中心臟，」警察檢查屍體後，一手放在腳夫肩上，繼續說下去：「我以暗殺站長的罪名逮捕你。」

「我沒有殺他，」不幸的腳夫說：「我聽見槍聲的時候，正在看報紙。火車上的這些位先生可能全看見了，他們可以證明我是無罪的。」

「是的，」湯先生說：「我親眼看見站長中槍時這個人正在看報紙。我可以憑聖經發誓。」
「可是你是在駛動的火車上面，」警察以權威的口吻說：「你看見的不足為憑。由月台上看，這個人可能暗殺了站長。你可知道，所謂同時發生是要根據你觀察的體系嗎？別吵，跟我走，」他

轉向腳夫。

「對不起，警官，」教授說：「可是你絕對錯了，我想你們總局對你的疏忽不會高興的。當然，在你們這裡，同時的觀念非常有高度相對性。也顯然兩個地方的兩件事是否同時發生要看觀察者的運動情形而定。然而，即使在你的地區，任何觀察者也不可能事先看到結果。你總不可能在一封電報還沒發出之先就看到它吧？或且沒開酒瓶先喝到酒？我懂得你的意思，你認為由於火車的運動，我們看見槍殺可能比實際發生的要晚，當我們看見站長倒下立刻下車，我們仍然沒有看見開槍。我知道你們只相信手冊裡教你們的事，但是仔細看看手冊，你便可能看見些別的線索了。」

教授的話使警察印象很深，他由口袋裡拿出手冊，開始慢慢地讀過去。立刻他大紅臉上露出尷尬的笑容。

「在這裡了，」他說：「三十七章，十二節，第五項：『任何可靠方面在任何運動體上證明在犯罪當時或在 *Heb* 的時距內（*C* 代表自然時限 *d* 代表與犯罪地點的距離）疑犯在另一地點被看見，則為可信之無罪證明。』」

「你自由了，好人，」他對腳夫說，然後又轉向教授：「非常感謝你，先生，免得總局找我麻煩。我是新進人員，對這些規矩還不明瞭。不過我馬上要把這件兇案報上去，」然後他走向電話亭。過了一會他衝到月台上來。「好了，案子破了。兇手在跑出車站時被抓到了。謝謝，謝謝！」

「我實在搞糊塗了，」火車開動時，湯先生說。「這些事和所謂同時是怎麼回事？難道在這個地方沒有意義嗎？」

「有的，」教授回答：「不過有一定範圍；否則我就不能夠幫助那個腳夫了。你知道，一切運

動體或是信號的傳遞都有一定的時間限制，所以在我們世界裡的「同時」的感覺就失去了意義。也許我換個說法可以使你更明白些。假如你有個朋友住在很遠的城市裡，你和他通信的最快方法是用火車。假如你在星期天發生了什麼事，而且你知道你朋友也會遇到同樣的事。顯然你沒有辦法在星期三以前讓他知道。反之，如果他事先知道你會發生什麼事，那麼他最晚要在星期四通知你。這樣由星期四到下一星期三一共是六天，你的朋友不可能在星期天影響你的命運或是知道那件事。由因果關係看，可以說他在六天內和你隔絕了。」

「如果用電報呢？」湯先生建議。

「哦，我認為火車是速度的極限，這在這一帶是正確的。在故鄉，光速是最大時限，你不能發出比無線電更快的信號。」

「可是，」湯先生說：「如果火車速度不能超越，那和同時有什麼關係？我和我朋友在星期天晚上仍在同一時間吃晚飯，不是嗎？」

「不，你這句話說得沒有什麼意思；一個觀察者可能會同意，但是在另外一輛火車上的觀察者會堅持說你吃星期日晚餐是和你朋友吃星期五的早餐或星期二二的午餐同一時間。可是實際上任何人也看不見你們兩個在距離三天外的地方同時吃飯。」

「可是這些事到底是怎樣呢？」湯先生驚訝地問。

「我已經在演講裡簡單地說明過了。雖然由不同的運動體系上觀察，但是速度的上限仍然相同。如果我們接受這一點，便可推論到……」

他們的談話被火車停站打斷，湯先生只好下車了。

第二天早上湯先生下到旅館海濱大陽台來用早餐的時候，他大吃了一驚。對角桌後坐着老教授和一位美麗的女郎。她正愉悅地對老人說些什麼事，並且常常瞥視着湯先生。

「我想我自己一定十分愚笨，在那輛火車上睡着了，」湯先生越想越生自己的氣：「教授一定還記得我那些人變年輕的傻問題。不過至少給我個機會讓我結識他而且可以向他請教一些我不懂的事。」他自己不願意承認他不只是想和教授談話而已。

「哦，是，是，我還記得我在講堂裡見到過你，」他們一同離開餐廳時，教授說：「這是我女兒毛娣。她是學繪畫的。」

「幸會幸會，毛娣小姐，」湯先生說，他覺得這個名字倒也十分出色。「我想週圍的景色可以让你獲得許多靈感。」

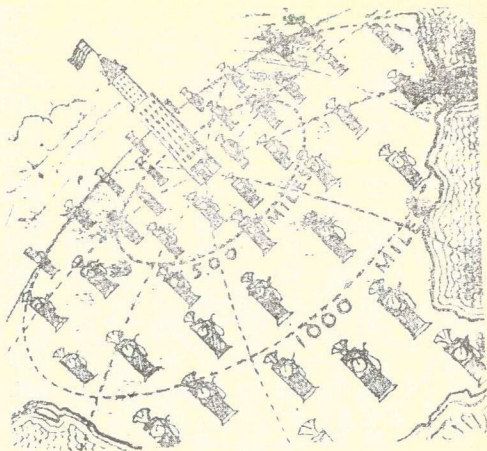
「她以後可以把畫拿給你看，」教授說：「不過請告訴我，你對我的演講有什麼心得嗎？」

「哦，有的，很不少——事實上，我在那個光速只有每時十哩的城市裡，也見識過物體相對性收縮和那座怪鐘的現象。」

「那麼真可惜，」教授說：「那麼你錯過了上次關於空間的曲率和他對牛頓式重力的關係。現在在海灘上我們有的是時間，讓我解釋給你聽。你懂不懂空間的正負曲率？」

「爸爸，」毛娣小姐噙着嘴巴說：「如果你又要談物理，我可要去做別的事了。」

「好好，小丫頭，你去吧，」教授說完，安逸地坐在搖椅裡去。「我知道你對數學下的功夫並不多，年輕人，不過我想用最簡單的話解釋給你聽。我們拿一個表面來作為例子。好比說有位石油股商希望把他的加油站平均地設置在一個國家裡，就說是美國吧！於是他下個命令給全國中心地（



美國的加油站

我想坎薩斯城應該算是美國中心）的公司，要我們計算離城市一百哩、二百哩等各距離內的加油站數目。他記得以前在學校念書的時候學得圓面積與半徑平方成正比，所以在平均分配的時候，加油站的數目應當依照1；4；9；16……之級數增加。當報告送上來的時，他感到很奇怪，實際上加油站增加比例較低，大概是成1；3.8；8.5；15；……『奇怪，』他會叫起來，『我的總經理根本不會辦事。誰想出來把加油站集中在坎薩斯城附近？』他這個結論對是不對？」

「對不對？」湯先生心中另有所思地反問。「不對，」教授斷然說：「他忘了地球表面

不是平面而是球形。在球面上，一定半徑圓的面積比平面上同半徑圓面積要小些。你真的明白嗎？隨便拿地球說，你自己試試看。如果你站在北極，以子午線之半作半徑畫的面周乃是赤道，這道線所包括的面積是北半球。把半徑延長一倍再畫，你就得到了全球的表面。可見面積不像平面上增加四倍，而只增加兩倍。你明白了嗎？」

「哦，」湯先生努力地集中注意。「這是正曲面還是負曲面？」
「它叫做正曲面，就像你所知道的地球曲面，它是有限的一定曲面和一定面積。負曲面的例子

像是馬鞍。」

「馬鞍？」湯先生問。

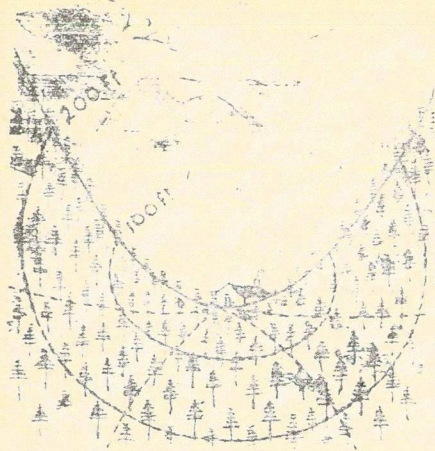
「是，馬鞍，就像地球表面上兩山之間的鞍形山道。假設有一位植物學家坐在山上的一間小屋裡，小屋正座落在一個鞍道上，他對於小屋附近的松樹密度感到興趣。如果他計算週圍一百尺，二百尺……內的松樹數目，他會發現松樹增加的速度比距離平方還要快，這指出在鞍形表面上的面積比平面上同半徑的圓面積為大。這種表面可以說是具有負曲率。如果你想把鞍形表面平鋪成平面，必須把它的一些地方摺起來，如果你要地球面平鋪，如果它沒有彈性，那麼會把一些地方撕破。」

「我懂了，」湯先生說：「你是說馬鞍表面雖然彎曲可是它是無限的。」

「對，」教授說：「一個鞍面各方面會無限延伸而不會包含起來。當然，我舉的山谷鞍道例子並不恰當，如果你出了山，它就失去了負曲率，而進入地球的正曲面上。當然你可以想像得到一個表面處處都具有負曲率。」

「可是它如何運用在三度彎曲空間上？」

「完全一樣。假如你把物體平均地分配在空間裡，我的意思是說相鄰兩物體的距離相等，那麼你再計算離你不同距離內的物體數目。如果數



山谷中的小屋

目與距離平方成正比，那麼這個空間是平的，如果增加得比較快或慢，那麼這個空間便具有負的或正的曲率。」

「這樣說來，正曲的空間在一定距離內體積較小，而負曲空間比較大？」湯先生驚奇地問。

「完全對，」教授笑着說：「你完全明白我的意思了。要明白我們所居住的宇宙的曲率，我們只要計數遠處的物體數目就行了。巨大的星云你總聽說過吧，它們是均勻地散佈在空間，我們可以看出數十萬萬光年外的星雲。要研究這個宇宙的曲率，它們是最好的對象。」

「難道我們的宇宙是有限而且閉合的嗎？」

「哦，」教授說：「這個問題實際上還沒有解決。愛因斯坦在他宇宙的原始草稿中曾經說宇宙是有限的，閉合的而且不變的。後來俄國數學家佛利曼 (A. A. Friedmann) 研究愛因斯坦的基本方程式發現式中允許宇宙衰老時有膨脹或收縮的可能性。這個數學結論由一位美國天文學家胡柏 (Hubble) 所證實，他使用威爾遜山觀察所的一百吋望遠鏡發現星雲正在互相遠離；即表示我們的宇宙正在膨脹。而現在的問題變成了這種膨脹是無限繼續呢？抑或達到一定高峯後便轉為收縮。這個問題需要天文學家的進一步仔細觀察。」

教授講話的時候，周圍似乎發生了非常令人驚奇的事：休息室的一邊變得非常小，而另一端却脹得非常大，湯先生覺得大得可以容納下整個宇宙。他心中興起一個可怖的念頭；似乎海灘上的一方空間（毛娣小姐正在畫畫的地方），被拉脫離這個宇宙。他再也看不見她了！當他衝向門口時，聽見教授在後面大喊：「小心，量子常數發瘋了！」他衝上海灘時，起初覺得十分擁擠。幾千個女

孩子向各方面胡亂奔跑。「人這麼擠，我到那裡去找毛娣？」他想。這時他又注意到幾乎每位女郎都像教授的女兒，他認為這簡直是測不準原理在開玩笑。過一會，這波異形的巨大量子常數過去後，毛娣小姐大張驚駭的眼光站在海灘上。

「哦，是你！」她如釋重負地低說：「好像一大群人向我衝過來。可能是太陽太熱把我的頭曬昏了。等我一下，我去旅館把草帽拿來。」

「哦，不，我們現在不要分開，」湯先生抗議道。「我覺得光速也在改變了，等你由旅館回來，你會發現我是個老頭子了。」

「胡說，」女郎說了，仍把手挽着湯先生的臂膀。但是走到一半，又一波「不定原理」襲來，把湯先生和女郎都散拋在海邊。同時一大摺空間開始由山邊延伸，包圍了岩石和漁民房屋，使它們變得奇形怪狀。太陽被鉅大重力場所影響，由地平線上消失，湯先生陷入了無邊的黑暗中。

一世紀過去後，一個甜美的聲音喚醒了他。

「哦，」女郎正在說：「父親談物理使你睡着了。何不和我一同去游泳？今天的水好極了。」湯先生由搖椅上跳起來。「又是一場夢，」他心裡想：「還是我的夢剛剛開始？」

第四章 彎曲空間，重力與宇宙的演講

先生女士們：

今天我想討論彎曲空間和它與重力現象的關係。我確信諸位對曲線與曲面會很容易在心中想出它的形狀，但是提起彎曲的三度空間，諸位可能便會把臉拉長了，甚至於心裡會想那簡直是超自然而不可思議的事。為什麼人們對彎曲空間會有共同的「恐懼」，這個觀念是否比曲面更加難以了解？諸位如果稍加思考，也許會說你們對彎曲空間難以想像是因為你們不能像對曲面或球體一樣由「外界」加以觀察。不過，一些相信此一說法的人，如果他們不懂得數學上的曲率意義，對此一名詞也不容易得到正確的了解。我們數學家認為如果在一個面上，如果其幾何圖形的性質與平面上者相異時，則可稱之為彎曲面。我們也是藉歐幾里德的古典法則來測量其差異而測量曲率。如果你在一個平面上畫個三角形，諸角之和根據基本幾何學的定理是等於兩個直角。你可以把這張紙折成圓錐，圓柱或更複雜的形狀。可是由在上面的三角形的諸角和還是等於兩直角。

雖然形狀改變，但是面上的幾何圓形還是不變，由「內部」曲率的觀點來看，所得的表面（以普通的彎曲觀念形成者）就和平面一樣平坦。不過你沒辦法不撕破一張紙而把它鋪在球形或鞍形上。如果你在球形上畫個三角形（球形三角），那麼歐幾里德幾何學的基本定理就不存在了。球形上的三角形是由兩根子午線的北半段和一段赤道交截而成，交截處是兩個直角，而頂上還有一個角度的。

而在鞍形面上你會發現，三角形的內角和永遠小於兩個直角。

要研究一個表面的曲率，必須觀察上面的幾何圖形，而如果由外面看去往往會得到錯誤的結論。譬如說，我們可能把一個圓柱和一個圓環歸成一類，實際上前者是平的而後者才是彎曲的。一旦諸位能習慣這種曲率的新嚴格觀念後，才可以了解物理學家討論我們生活的空間是否彎曲的問題。藏結只在要查明在這個物理空間中的幾何圖形是否服從歐氏定理。

既然我們談及實際的物理空間，我們首先應當「用幾何學中的名詞來下個物理定義」，而且特別說明我們依據直線觀念究竟了解些什麼。

我想諸位一定都明白直線的最普遍定義，乃是兩點之間的最短距離。找到這線的辦法有兩種，其一是在兩點間拉一條線，其次是用尺來量得最短的路徑。

爲了要說明這種量得直線的方法還和自然環境有關。讓我們假設，有個大圓台沿軸心均勻地旋轉，一個實驗者（圖中）又想在圓周上兩點找到條最短距離。他有一盒木棍，每根長五吋，他希望用最少數目，把兩點聯結起來。如果圓台不在旋轉，他可能照我們圖中虛線所畫的排列起來。可是由於圓台的旋轉，他的量尺會有相對性的縮短，這情形我在上次講堂中已經說明過，越是在接近圓周的部份（因為圓周部份的線速度較大），它的收縮比接近中心部份來得大。所以一個人要用同一根木棍量得最大距離，他應該將它們儘量靠中心排列。不過兩點是固定在圓週上，所以木棍線的中央也不能過於偏向圓心。

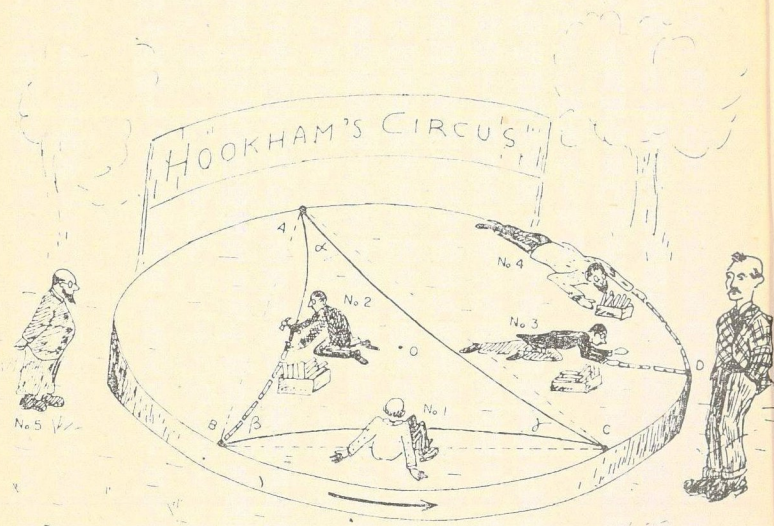
所以在這兩種狀況的折中下，兩點間最短的距離乃是一條稍稍彎向中心的曲線。

現在如果不用木棍，而用一根線代替，結果仍然一樣。因爲線的每一部份都會相對地收縮。我想在這裡加以強調，拉緊的線當圓台旋轉時便會發生變形，而與普通的離心力無關。事實上，不管

這根線拉得多緊，變形不會改變，更不用提普通作用在兩端的離心力了。

現在，如果站在圓台上的觀測者決定要用他所測的光線與他劃出的直線作個比較，以檢查那直線到底直不直。他會發現光線正好沿着他作出的線上傳過去。當然，對一個站在圓台附近的人，他看不出光線是彎的；他會把這現象解釋爲運動觀察者將圓台的旋轉和光的直線相重疊起來的結果，這像你在一個旋轉的唱片上劃一道直線，而結果在唱片上的劃痕乃是曲線。

可是就圓台上的觀察者來說，他把他所得到的曲線稱之爲「直線」是非常合理的：它是最短的距離，而且和他的參考標準的光線互相吻合。如果他又在圓周上選擇三點，用直線聯結成個三角形。這三個角的和將小於兩直角。於是他可以得到一個正確的結論；他周圍的空間乃是彎曲的。



在旋轉台上測量

我們另外再舉一個例子，假設另外兩個觀察員（3和4）也在圓台上，打算測量圓周和直徑以求得 π 的數值。3的量尺不會受圓台運動影響，因為它的運動與其長度成垂直。可是4的量尺就會收縮，他所得到的長度要比不動圓台的圓周為大。4的數值被3的數值所除，結果得到比課本上的 π 為大的值。這又是彎曲空間的一個結果。

受旋轉影響的不只是長度而已。由前面所談的理論，圓周上的錶將有較大速度，結果它比中央所放的錶要走得慢些。

如果兩位觀察員在圓台中央對好錶，然後其中一位把錶帶到圓周上去一會功夫，等他回到中央時，他發現他的錶比中央的錶要慢。他於是得到一個結論，圓台上的不同地方有不同速率的物理過程。

現在我們停止實驗，來考慮一下因為地理位置不同而發生的奇異效果的問題。假設那個圓台是封閉的，形成一個沒有窗戶的旋轉房間，房裡的人看不見對外界的相對運動。他們會不會解釋成一切觀察得的效果只是圓台上的物理性質，而與裝置圓台的「實地」的相對旋轉無關？

乎能明圓台上與「實地」上物理情況的不同，便可以解釋幾何學中不同結果的道理。他們可以立刻注意到有種新的力量存在，將所有圓台中央的物體拉向圓周。他們也往往會將所有觀察到的現象歸因於這個力量；例如說，這個新力使離中心較遠的錶走得比較慢。

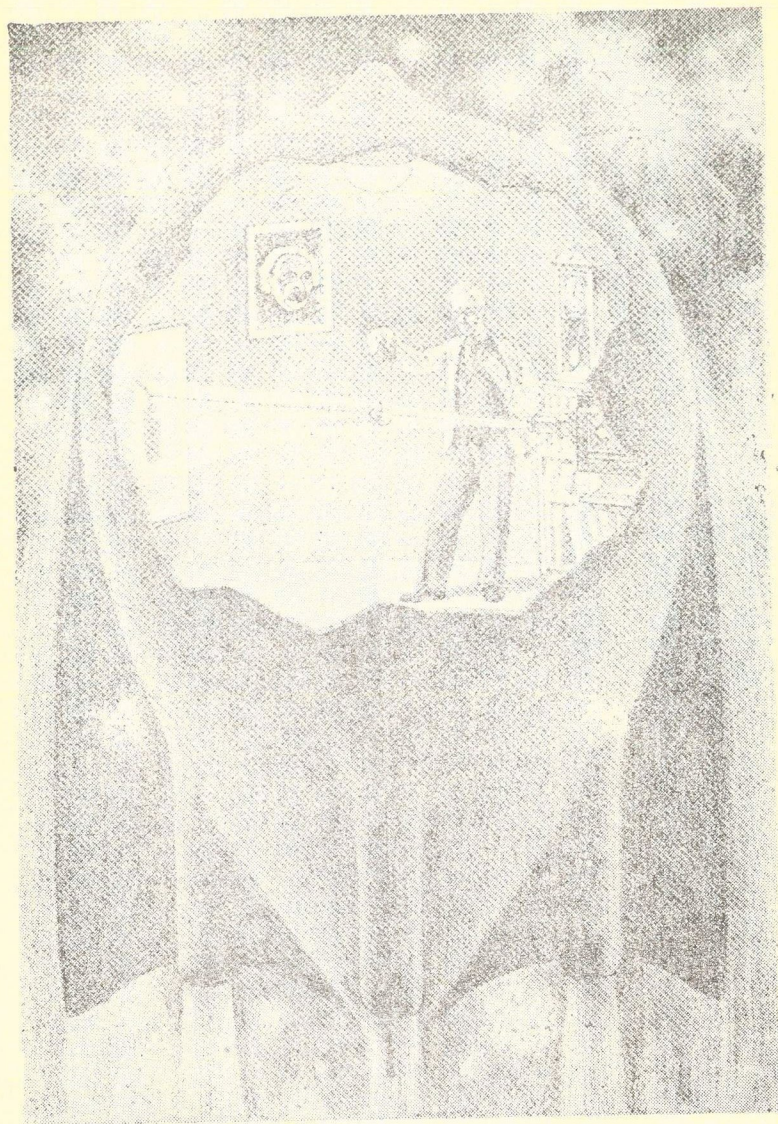
這是不是「實地」上觀察者看不出來的「新」力量呢？我們不是常常看見把所有物體拉到地球中心的重力嗎？當然，我們一方面被拉向圓盤邊緣，另一方面又被地球重心所吸引，如此，力的分配只有一點差異。所以我們要舉個例子來說明由某一標準體系中不均勻運動所生出來的「新」力與

這房間中的重力相仿，並不困難。

假設有一艘為星際旅行的太空船，自由地在太空某處漂浮，它離星球很遠，它體內沒有重力作用。船內所有物體和旅行的實驗家都沒有重量，自由地在空氣中漂浮，就像裘爾斯·維尼所著「月宮游記」裡的情形一樣。

現在引擎開上，我們的太空船開始運動，慢慢地得到加速度。太空船內部情況如何呢？顯然只要船在加速度，內部所有物體都有種移向地板的趨勢，換言之，也就是地板會上移就物。例如我們的實驗家手上拿個蘋果，然後把它放開，蘋果便會以一定速度繼續運動（與周圍的星球相對），它的速度也就是當蘋果放開那一瞬間的太空船速度。可是火箭正在加速；於是艙室的地板越來越快，終於趕上蘋果而打擊到它；從此蘋果便永遠和地板保持接觸，由於不斷的加速度，緊貼在地板上。不過對艙內的實驗者說，好像是蘋果以一定加速度「下墜」，最後由於它的重量而靜止在地板上。他可以用任何物體實驗，而且進一步發現所有物體都以相等加速度（如果空氣摩擦忽略去不計）下落，這時他就記起了和當年伽利略的自由落體定律相同。事實上，他無法注意到加速艙和普通重力現象之間的微細差別。他可以使用利用擺錘的鐘，可以把書放在架上而不怕它飛走，可以用個釘子把愛因斯坦的畫像掛起來，這位先生已是第一位發現一個體系中的加速度與重力場相似，又由這個基礎發展出他所謂的廣義相對論。

在旋轉圓台的第一個實驗中，我們可以注意到伽利略和牛頓在研究重力時所不知道的現象。光由艙室內越過時，發生彎曲照射在對面牆上掛屏的不同地點，其地點視太空船的加速度而異。一個外界的觀察者會把這現象解釋為由於均勻直射的光線和艙室加速度所生的重疊現象。幾何學也會有



最後將是地板追上去擊中蘋果

錯誤；三束光線所形成的三角形內角會比兩直角為大，圓周與直徑的比也大過π值，我們在這裡也考慮過加速系統的兩個簡單例子，可是上述的現象在任何運動的堅實或變形體系中都成立。

我們現在要討論到更重要的問題。我們剛才談過，在一個加速的系統中，我們可以觀察到一些普通重力場中無法了解的現象。這些新自然現象，例如光線的彎曲或時鐘變慢，是否也存在於可衡量的物質的重力場內？換言之，加速效應和重力效應是否相似甚至於完全相同？

顯然，由已經發現的觀點言，非常容易讓人接受二者相同的理論，可是最後答案還是要賴視實驗結果。而且因為人類最大的滿足心理是要求簡單而且可以符合宇宙萬象的定律，而實驗也正是要證明在一般重力場中也存在那些新現象。當然，假設加速度與重力場的差異十分小，所以科學家們特別注意它，才發現出來。

使用前述加速系統的例子，我們可以輕易地估計出兩項最重要相對重力現象的量的順序：鐘速的改變和光線的彎曲。

我們先來看看旋轉圓台的例子。由基本力學我們可以知道在離中心「距離處一個質量的離心力由下式決定之：

$$F = m v^2 \quad (1)$$

v 是我們圓台旋轉時的定角速度。這力在質量由中心移向圓周時所作的功是。

$$W = \frac{1}{2} R^2 \omega^2 \quad (2)$$

R 是圓台的半徑。

根據上述相似原理，我們可以由圓台上的重力求得 F 以中心與圓周上的重力勢能的差異求得 W 。我們必須記住，在下次演講中我們也討論過，以 v 速度運動的鐘，慢下來的係數應該是。

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{v}{c}\right)^2 + \dots \quad (3)$$

如果 v 比 c 小得很多，則其他項可以略去。根據角速度的定義，我們知道 $v \parallel R\omega$ ，因此減慢的因數變成了。

$$1 - \frac{1}{2} \left(\frac{R\omega}{c}\right)^2 = 1 - \frac{W}{c^2} \quad (4)$$

而得以不同地點的重力勢能差來代表時鐘的減慢率。

如果我們將一具鐘放在地下室，另一具放在愛非爾塔（高約千呎），其中勢能的差非常小，而地下室的鐘減慢的因子將為 0.999,999,999,999,97。

換言之，地面與太陽表面的重力勢能差比較大，使鐘緩慢的因子變為 0.999,999.5，這也只有用最精密的儀器才測得出來。當然，實際上誰也不能把普通的鐘錶放在太陽表面上去觀察！不過科學家們另有別的方法。利用分光儀，我們可以觀察到太陽表面不同原子的振動週期似與在實驗室中本生燈上同樣元素原子燃燒的火焰週期相比較。太陽表面原子的振動將以 (4) 式中的因式而減慢，所以它放射的光線比地球上光源的顏色更紅些。這種「紅移」現象是在太陽和其他幾個星球的光譜上觀察到的。因為光譜可以準確地測量出來，結果和我們理論上的公式相符合。

所以，紅移現象的存在證明了在太陽上的變化過程由於其表面的較高重力勢能而比較緩慢。

如果要測量光線在重力場中的彎曲，則以使用前述的太空船例子比較方便。設以 l 代表艙室寬度，則光線穿過所需的時間為

$$t = \frac{l}{c} \quad (5)$$

太空船在這段時間內以 g 加速度運動，它所走的距離 L 可以下述力學基本算式推出：

$$L = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \frac{l^2}{c^2} \quad (6)$$

因之光線改變的角度可以以長度來代表計算：

$$\phi = \frac{L}{l} = \frac{1}{2} \frac{g l}{c^2} \quad \text{弧度} \quad (7)$$

所以角度越大，光線在重力場中所走的距離也越長。在太空船中的加速度 g 可以把它解釋為重力加速度。如果我在這個講堂中發出一束光線，我大致把 l 算為 1000 cm。地球表面的重力加速度是 981 cm/sec²， $\frac{L}{C} = 3 \times 10^{-10}$ cm/sec，那麼

$$\phi = \frac{100 \times 981}{2 \times (3 \times 10^{10})^2} = 5 \times 10^{-16} \text{ rad.} = 10^{-10} \text{ sec. of arc.} \quad (8)$$

在這種情形之下，光線的曲率是絕對無法觀察得出來的。在太陽表面， $g = 27,000$ ，而在太陽重力場中所走的路徑也很大。經過精確的計算，光線經過太陽表面發生的曲折為 1.75"，這個數值正是天文學家在日全蝕對觀察太陽邊緣星辰位移時所得到的。由這裡看，觀察結果表示加速度與重

效力率的完全相同。

現在，我們可以回到彎曲空間的問題上去。諸位應該還記得，利用直線的最合理定義，我們可以由一個均勻運動體系中所得的幾何學與歐氏幾何相比較出的差異，而把那種空間稱為彎曲空間。既然任何重力場和一些體系的加速度相同，這就表示所有有重力場的空間都是彎曲空間。更進一步說，一個重力場只是彎曲空間的物理特性。所以任何點的空間曲率可以由物質的分佈決定出來，而且近重物體處空間曲率達到最高值。我無法在這裡詳細地解釋空間曲率和物質分佈的相互關係的數學系統。我只能說這曲率不是決定一個，而是十個不同的數字，普通稱之為重力勢能 $g_{\mu\nu}$ 的分力以及古典物理中以前所謂 W 的重力勢能的綜合。依同理，每一點曲率是用以 $R_{\mu\nu}$ 的十個不同曲率半徑決定的。那些曲率半徑是與物質的分配有關，而以愛因斯坦的基本方程式決定。

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -K T_{\mu\nu} \quad (9)$$

式中 $T_{\mu\nu}$ 則與物體重力場的密度，速度和其他性質有關。

在本次演講結束的時候，我想指出方程式 (9) 中一個最有意思的意義。如果我們考慮一個均勻充滿物體的空間，正如我們空間中充滿星辰與星河，我們可以得到一個結論；除了接近一些獨立星辰的大曲率外，宇宙空間具有種「在大距離的均勻彎曲傾向」。在數學上有幾個不同的解答，其中一些與「宇宙空間最後是封閉的而且有一定的體積」有關，另外一些則是「宇宙是馬鞍形的無限」，這點我已在開始時提過了。第9式的第二點重要意義，是這種彎曲空間應當是在穩定地膨脹或收縮中，在物理學上其意義是空間所充滿的質點在互相飛遠去或互相接近中。進一步有人認為這個

宇宙是脈動性的，就是說收縮與膨脹作週期性的交替。換言之，無限的「馬鞍」形宇宙也永遠在膨脹與收縮中。

關於我們所居的宇宙，有如此不同的一些說法，不過正確答案不應來自物理學家，而是應該來自天文學家，在這裡我不想多加討論。不過我願意指出，由天文學的證據來看，絕對的指出我們的宇宙是在膨脹中，不過這個膨脹以後是否會轉變為收縮，及宇宙體積是否有限或無限，在目前尚無定論。

第五章 脈動的宇宙

在旅館第一天的晚餐上，湯先生和老教授暢談宇宙學，又和他女兒閒聊了陣藝術。他回房後就躺在床上，蒙頭蓋上毯子。他滿腦的都是物理學家和藝術家的名字，最後終於熟睡了……

半夜時，他忽然醒了過來，心裡有種奇怪的感覺，好像他不是睡在舒服的席夢思牀上而是在硬硬的東西上。他睜眼看見自己伏臥在好像是海邊的大石頭上。後來，他看清身下是一塊很大的石頭，直徑約三十呎，懸在半空，四面都不著地。石頭上有些綠色的苔蘚，幾條石縫間還長有一些灌木。岩石周圍被一些滿是灰塵的閃爍光芒所照亮。事實上，空間的灰塵比他所見到的還要多，如果用儀器測量，可以知道中西部正有一陣塵暴。他把手帕縛起來蓋上鼻子，這樣使他覺得好多了。然而在周圍空間有比灰塵更危險的事物。常常有人頭或手掌大小的石頭在周圍掠過，偶而有一兩塊擊在他的石頭上，發出空悶的聲音。他注意到遠處有幾塊和他自己這塊相當大的石頭在飄浮。他一方面注意着周圍，一方面緊緊地抓住一塊石角，怕掉下石塊落進無涯的灰塵海中去。不久，他鼓起了勇氣，想爬到邊緣去看看下面是否真的沒有東西支持着。當他向前爬的時候，他大為驚奇，他不但沒有摔下去，而且他的重量緊緊貼在石頭表面上，雖然他只不過爬了圓周的四分之一遠。他更驚訝地在閃光中看到在他方才醒過來的石頭上是老教授的高大身材，已低着頭在記事本上寫什麼東西。

現在湯先生慢慢地會意了。他記得在學校裡讀過說地球是繞着太陽運行的塊大石頭。他也記得一張圖畫，上面兩個人相對站在地球兩極。是，他的石頭也是個很小的行星，表面上所有物體都受到重力的吸引。在這個小星球上，只有他和教授兩個居民。這點想法使他放心許多，他決對掉不下

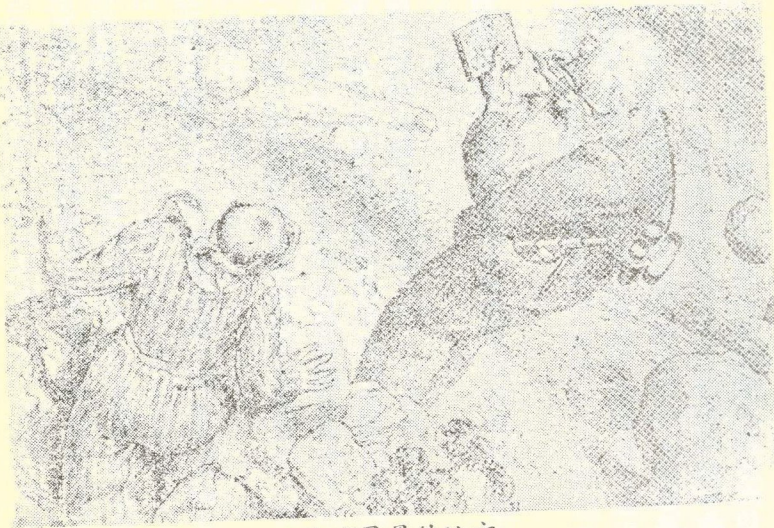
去！

「早安，」湯先生說，使教授轉移了注意力

教授抬起頭來。「這裡沒有早晨，」他說：「這個宇宙裡沒有太陽和發光的星。幸而這石頭表面上有種化學變化，否則我就不能觀察到宇宙的膨脹了。」說完他又轉向記事簿。

湯先生覺得非常不愉快；在這星球只有他們兩個人，而他居然如此不睦鄰。忽然一個小隕星來幫他的忙；它刷地一聲打到教授手上的簿子，把它由這小星球上打飛去。「現在你再也不見它了，」湯先生說。這時，記事簿越變越小，在空間飛遠了。

「不然，」教授答。「你要知道，我們現在置身的空間並非無涯的。哦，是，是，我知道你在學校裡讀到的宇宙是無涯的，兩條平行線永遠不會相交。這點，不論是在其他人類居住的宇宙，抑或是我們現在生活的空間，都是不確的。前



沒有早晨的地方

者當然很大；據科學家估計現在的量度應該是，10,000,000,000,000,000,000,000哩，這在一般人看來，算得上是無涯的了。如果我的書在那裡丟失，等它飛回來要經過難以思議的時間。不過在這裡的情形稍有不同。當這本書被打出手時，我剛好算出來這個宇宙的直徑只有五哩，不過它膨脹得很快。我預計這本簿子再半個鐘頭就會回來。」

「不過，」湯先生大膽地問，「是不是你認為本子就像澳洲土人的飛去來器一樣，兜個圈子時又回到你身邊？」

「不，」教授答。「如果你想弄清楚，你想想看，當初一位希臘古人不知道地球是圓的。假如他命令一個人一直向北走。他結果由南邊上來回到原處，會大吃一驚。我們這位希臘古人並不知道他繞了世界一週（當然，就是地球），他會說那位旅客走歪了路所以才會回到原地。實際上，那人走的是一條直路，所以才會回到他面前。我的書也一樣，除非它被什麼石頭打到，才會把路走歪。你用這個望遠鏡自己看一下好了。」

湯先生把望遠鏡放在眼前，他由灰塵中看見了教授的本子越走越遠。遠處所有的物體，連本子在內，都顯出粉紅的顏色。」

「哦，」過一會他驚叫起來，「你的本子回來了，我看見它越變越大了。」

「不，」教授說：「它還在向遠處去。你所以看見它越變越大，是因為光線在封閉圓形宇宙中的特別聚焦作用。我們再來談談那個古希臘人。如果光線能夠繼續沿着地球表面彎曲前進，就算是因為大氣的折射吧，那麼他使用高倍望遠鏡可以看見他的手一直在向前跑。如果你下望地球，你會看見它表面上最直的線乃是子午線，它先由一極外凸，但是過赤道後便向另一極收縮。如果光線

沿子午前進，你站在一極上，會看見離你而去的越變越小，直到他越過赤道為止。過這一點之後，你又會發現他越變越大，有如他回頭走來一樣。等他抵達對極之後，你會發現他就像在你身邊那麼大。你想碰却碰不到他，有如你碰不到鏡裡的映像一樣。根據這個兩度的推論，你可以想像在奇怪的彎曲三度空曲中會有什麼效應。現在，我想書本的影子已經接近了。」湯先生放下望遠鏡，看見書本就在幾碼遠處。看上去實在令人至感驚訝。它的輪廓並不清楚，教授在上面寫的字也模糊難辨，就如一張焦距不準沖洗不好的照片一樣。

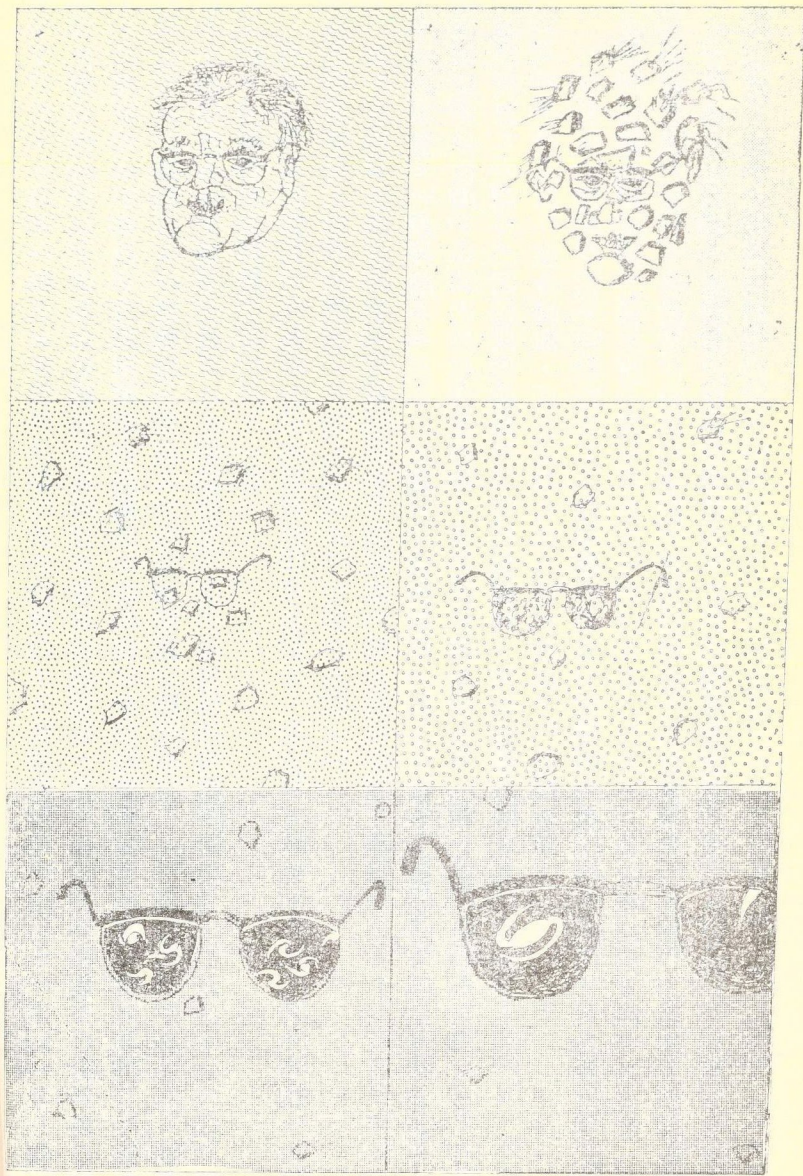
「你現在可以看見，」教授說，「那只是本子的影子，被旅行了半個宇宙的光線所扭曲。如果你還是將信將疑，你仔細點看，便透看到到本子後面的石頭。」

湯先生伸手想抓住本子，可是他的手却毫無阻力地由影像中穿了過去。

「這本書，」教授說：「現在已經接近宇宙的對面一極了，你在這裡正好可以看見兩個影像。第二個像在你後面，等到兩個影像重合時，本子正好通過極上。」湯先生沒有聽他的話，他心中在想學校課本中關於凸凹鏡成像的部份。等他想完後，兩個影像又向相反方向退去。

「可是空間為什麼會彎曲，而生這種古怪的效應？」他問教授。

「有重量物質的存在，」教授說：「當牛頓發現重力定律的時候，他以為重力只是種普通的力，就像兩個物體間連結的橡皮筋一樣。可是所有物體在重力作用下永遠有相同的運動與加速度（如果略去空氣阻力等），仍然是件神秘的事實。愛因斯坦第一個發現物體的主要作用是產生空間曲率，所有物體在重力場中運動的路徑都是彎曲的，因為空間本身便是彎曲的。可是如果你沒有充分的數學基礎，是不大容易了解這點的。」



宇宙正在超極限的膨脹冷卻中

「那麼，是否如果歐幾里德不存在，就可以創造出絕對空間的幾何學？」
教授顯然不願意討論到形而上學的領域。

這時本子的影像又分開向相反方向退去，然後又第二次回來。只是這次比上次更模糊不清，幾乎已經難以辨認，這次根據教授的说法，是光線沿着整個宇宙在旅行。

「如果你再回頭看，」他對湯先生說。「你會看見本子終於環行世界一週回來了。」他伸手抓過本子，把它塞進口袋。「你瞧，」他說：「這個宇宙裡灰塵石頭太多，差不多看不清世界。我們周圍一些沒有形狀的陰影可能是我們自己或是周圍物體的影像。灰塵和宇宙的不規則曲率使它們扭曲得非常利害，我根本分不清什麼是什麼。」

「我們以前住的那個大世界裡是不是也有這種效應？」湯先生問。

「當然有，」教授答。「可是那個宇宙太大，繞一圈需要幾千兆光年。而且可能有星塵埃會把它完全遮擋住。甚至於有位英國天文學家開玩笑的說過，現在天上的星星全是許多年前星星的影像。」

湯先生聽了這些解釋實在弄得頭昏腦脹，他猛一轉頭吃了一驚，天上的景色又有了變化。現在的塵埃似乎少了些，他取下綁在臉上的手帕。飛來飛去的小石頭也減少了些，而且打在他們石頭表面也輕了些。最後，幾塊和他們同樣大小的石頭也漸漸飛遠不見了。

「哦，這下子，生活變得比較安逸一點，」湯先生想。「我方才一直怕被飛石打到。你能不能解釋我們環境的變化？他問教授。」

「非常簡單；我們的小宇宙正在迅速膨脹中，我們在這裡的一段時間裡，它的體積已由五哩增加到一百哩了。我一發現在這裡，就由遠處物體發紅知道它在膨脹了。」

「我也發現遠處一切都發出粉紅色，」湯先生說：「爲什麼知道它是表示膨脹呢？」

「你有沒有注意過，」教授說：「一輛接近火車的叫聲特別高，等火車經過你之後，聲音便變得很低？這便是所謂的都柏勒效應；音調高低與音源的速度有關。當整個空間膨脹時，其中的所有物體都以與觀察者距離成比例的速度移開去。所以由那些物體發出的光就比較紅，在光學上它就與低音調相仿。物體越遠，速度越光，光線就越紅。在我們的老宇宙裡，它也是在膨脹，在那裡我們把紅光現象稱之爲紅移，使天文學家可以估計很遠星雲處的距離。例如和我們最近的仙女雲，表示出0.05%的變紅，它表示八十萬光年的距離。還有一些在現在望遠鏡能力範圍之內的星雲，表示出百分之十五的紅移，表示距離在數億光年左右。假設那個星雲正在大宇宙的赤道中線上，那麼這個空間體積在天文學家來說只是代表那個宇宙總體積的一部份。目前的膨脹率約爲每年0.000,000.01%，所以每秒鐘宇宙的半徑增加一千萬英里。我們的小宇宙膨脹得更快些，它的量度每分鐘增加百分之一。」

「這個膨脹不會停止嗎？」湯先生問。

「當然它會，」教授說。「然後就開始收縮了。在大宇宙裡，時期比較長，大概在幾十億年，但是我們的小宇宙只在兩小時左右。我想我們現在觀察最大的膨脹。你覺得冷嗎？」

實際上宇宙中充滿熱輻射，因爲它分佈在很大的體積中，所以給小行星上的便很少，溫度幾乎到冷凍點。

「我們運氣不壞，」教授說：「本來還有些輻射熱，可以支持我們經過膨脹階段。否則的話，我們石頭周圍的空氣早就凍成液體，我們也已經一命嗚呼了。不過收縮已經開始了，溫度又會昇高了。」

湯先生望着天空，注意到所有物體的顏色，由粉紅轉爲紫色，根據教授的講法，是由於星體向他們移近的關係。他也記得方才教授舉的火車哨笛的例子，所以心中不會有所恐懼。

「如果一切都在收縮，是不是宇宙間的大石頭不久就會擠到一堆，我們豈不被壓死了？」他焦急地問教授。

「對，」教授冷靜地答，「不過在那種情形發生之先，溫度早已經高得使我們分解成爲許多原子。這正是大宇宙末日的縮小畫面——所有物體都被化進一個均勻的白熱氣團中，要等新的膨脹開始了，才會有新的生命。」

「哦，天！」湯先生喃喃地說——「你方才說過，我們的大宇宙距離末日還有數十兆年，可是這裡的末日可來得太快了！我雖然穿着睡衣，已經覺得熱起來了。」

「最好別脫下，」教授說：「一點也沒有用。你現在只好乖乖地躺下來儘量多觀察一點吧！」



在朦朧的早上他微微地看出傢俱的輪廓。

湯先生已經說不出話來了，空中熱得難以忍受。灰塵已越來越濃，好像一條熱毯子一樣把他包起來。他想掙扎，手一伸，伸到冷空氣裡去了。

「我是不是把這個小宇宙擊破了？」他心中想。他想問教授，可是找不到他。反之，在朦朧晨曦中他看見臥室內熟悉的傢伙輪廓。他躺在床上，緊緊地捲在熱和的羊毛毯子裡，剛才正是把一隻手伸出來。

「現在，生命又隨着膨脹開始了，」他心中還想着教授的話。「謝上帝，我們還在膨脹！」於是他起來走向洗面間。

第六章 宇宙歌劇

早上用早點的時候，湯先生把昨夜的夢。講給教授聽，老人懷疑地聽着。

「宇宙的崩潰，」他說，「當然是個非常戲劇化的結束，不過我想星雲系互相遠退時的速度非常大，而且目前的膨脹並不會變為崩潰。宇宙會無涯地膨脹下去，結果空間中的星雲系的分佈也越來越稀疏。又當核子燃料消耗盡之後，形成星雲的星都燒光了，宇宙便成了飛向無涯的暗冷的集合體。」

「可是有些天文學家不作如此想。他們提出的是所謂穩定狀態的宇宙，根據他們的說法，宇宙並不隨時間而改變；它在以前就和我們今日所見者相同，而將來也要繼續存在下去。當然，這與歷史上大英帝國永遠統治世界的原則差不多，在我個人並不認為穩定論是正確的。哦，這個新理論的倡始人，他是劍橋大學理論天文學教授，把這個理論寫成一個歌劇，即將在下週于修道院首演。你何不訂兩張票請毛娣去聽聽？一定很有意思。」

由海灘回去後幾天，天氣變得陰寒多雨。湯先生和毛娣舒服地靠在劇院紅絨沙發椅上等待開幕。序曲是最強的調子，使指揮在奏完它之前換了兩次硬領。最後布幕拉了起來，舞台上十分輝亮，強得使每個觀眾都用手掌把眼睛遮起來，舞台發出的強光充滿了空中和觀眾席，使整個劇院成了一片光海。慢慢這亮光消褪了，湯先生發現自己似乎飄浮在黑暗的空間裡，但是周圍閃爍着點點星花。看不見的樂隊在奏出像風琴聲的音樂，湯先生看見他附近有個穿黑法衣戴牧師領的。根據說明書上寫，他是比利時的喬治。拉梅特教士，宇宙膨脹理論便是他首先提出來的。那個理論被稱為「爆

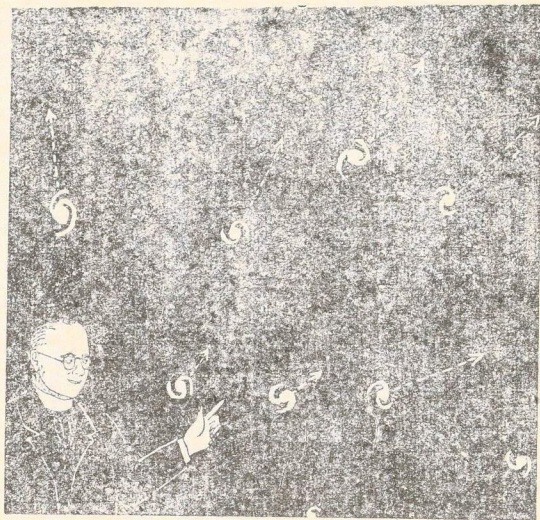
炸論」。

哦，原始的原子！
無所不在原子！
化成微細難察的一切物體。
星河賴形生！
鉅大能量由是成！
哦，輻射能的原子！
哦，無所不在原子！
哦，充塞宇宙的原子——
神的傑作！

那長遠的進化
曾有萬道煙火
它終于在灰燼與餘火裡停止
我們站立中央，
面對烘熱太陽
努力想再追憶

★

原始時代的輝煌
哦，充塞宇宙的原子——
神的傑作！



湯先生看見一個穿黑法衣戴牧師領的人。

拉梅特神父唱完詠嘆調後，出現了一個高個子！據說明書上記，此人是祖籍俄羅斯移民美國的科學家喬治·加謨，他開始唱了。

好牧師，我們了解
有許多共同處
宇宙早已在膨脹
自它出生的日子
宇宙早已在膨脹
自它出生的日子。

★

那是中性的流體，
不是原始的原子。
它是不定的，正如
它是不定的，正如
往古的沒有窮盡
往古的沒有窮盡。

你說在運動中成形
這點我恕難同意，
我們對它的出生
各有不同的見解
我們對它的出生
各有不同的見解

★

在個無涯的穹蒼
崩潰後充滿氣體
多少億萬年前
結成了稠密狀態
多少億萬年前，
結成了稠密狀態。

★

宇宙中光輝燦爛
正在那重要的時刻，
光亮在物體之先
正如節奏於旋律

光亮在物體之先
正如節奏於旋律

每一噸的輻射
只需要物質一小噸
能量在太空發射
互相衝動撞擊

能量在太空發射
互相衝動撞擊，

物質開始慢慢凝結
(正如吉安所提的假設)。
巨大氣體的雲團擴散

成爲所謂的初生星河
巨大氣體的雲團擴散
成爲所謂的初生星河

初生星河在搖顫
在夜晚向外方飛逸
自此形成日月星辰
宇宙中充滿光亮

自此形成日月星辰
宇宙中充滿光亮

星河在旋轉不息
星辰燃燒到最後一刻
直到宇宙變得稀疏
終于死亡冷淡黑暗
直到宇宙變得稀疏
終于死亡冷淡黑暗。

湯先生記得第三段詠嘆調是歌劇作者自己誦唱的，他在星河中間虛無所有的空間突然現身。他由衣袋中拉出一個新生星雲，開始唱：

上帝的律令，宇宙
不是形成在既往時間中
它過去，現在，將來均如是
因爲邦地，高德和我這樣說
永住，哦，宇宙，宇宙，永住吧
我們要求你永不變移。

古老的星雲擴散燃燒
終于消逝無蹤
可是我們的宇宙

仍永古長存而不變移
永住，哦，宇宙，永住吧
我們要求你永不變移！

新生的星雲繼續凝成
就像以前的星雲一般，
(對不住，拉梅特和加謨諸公！)
宇宙過去現在將來均若是
永住，哦，宇宙，永住吧
我們要求你永不變移。

雖然這懇求的歌委婉動人，可是周圍宇宙的星河仍漸漸消退而去，終于絨幕低垂，大歌劇院裡的吊燈又亮了起來。

「哦，湯，」他聽見毛娣說，「我知道你這個人隨時隨地會睡着，可是怎麼可以在大歌劇院裡呢？上演的時候你一直在睡！」

湯先生帶毛梯回到她父親家的時候，教授正坐在安樂椅上閱讀新送來的「每月通訊」。

「歌劇好不好？」他問。

「哦，好極了！」湯先生說，「我特別欣賞最後那首宇宙永存的詠歌調。它使人安心極了。」
「對這種理論要特別防備，」教授說。「你沒聽過一句諺語嗎？『發亮的並不都是黃金』。我正在讀一位劍橋學者馬丁·萊爾的文章，他建了座大望遠鏡它所以看得比巴洛瑪山的二百吋望遠鏡更遠幾倍。他的觀測表示出很遠地方的星河的位置比較接近緊密。」

「你是不是說，」湯先生問，「這宇宙在我們這一區域的星雲比較稀疏，而越遠去，它的星雲密度越增加？」

「那也不盡然，」教授說。「你要記住，由於光速的有極限，你望向宇宙遙遠的地方時，你也望向以前的時間。例如，由於光線由太陽到這裡需要八分鐘，所以天文學家所看的太陽都是八分鐘以前的太陽。我們最近的宇宙鄰居，是仙女星雲的螺旋狀星河，你可以由書上知道，它距離我們約有一百萬光年，所以它的照片實際上是百萬年前的情形。因此萊爾利用他的電子望遠鏡所得到的是數億年前遙遠地方的情形。如果宇宙真是穩定狀態，那麼那些照片應該永遠不變，非常遠處的星雲分佈應該不比比較近處的星雲分佈為密或疏。萊爾的觀察表示出遠處星雲比較密集，表示出過去數億年時，宇宙內已是那樣的情形。這與穩定理論互相矛盾，而顯出星雲在擴散日益稀疏的理論有相當根據。自然，我們還應當注意萊爾實驗的進一步發展與證實。」

「而且，」教授由口袋中取出一張摺好的紙，說，「這是我這位同行在最近寫的一首詩。」他讀：

「你多年辛勞工作，」

萊爾對何爾說：

「全是徒勞而不功。」

宇宙穩定不變論

已經不切實際。

除非我老眼昏花。

我的望遠鏡

破滅你的希望。

你的理論已被擊破，

讓我高唱一句：

我們的宇宙

一日比一日稀疏！」

何爾說：「我看出

你和拉梅特一樣，

還有加謨，別管他們！

★

他們那一套爆炸論

全不切實際——

又沒有終結

★

何必替他們助威？

我的好朋友，

宇宙既無開端

正如邦地和高德。

我將永遠堅持

到我頭髮脫落為止。」

★

「何處呢！」萊爾說

「他的神情緊張，

聲音提高了些

遙遠處的星雲

的確是密集一些！」

★

★

「你讓我冒火，」

何爾大爲生氣

又換一副口吻說：

「雖然新的物體

日夜都在誕生，

可是畫面永不改變！」

「算了，老何！

我打算好好地

揍你一頓，」

萊爾又說下去，

「然後你才會神智清明！」

「哦，」湯先生說，「這一場爭論的結果一定十分有意思，」然後他在毛娣臉上吻了一下，道聲晚安回房去了。

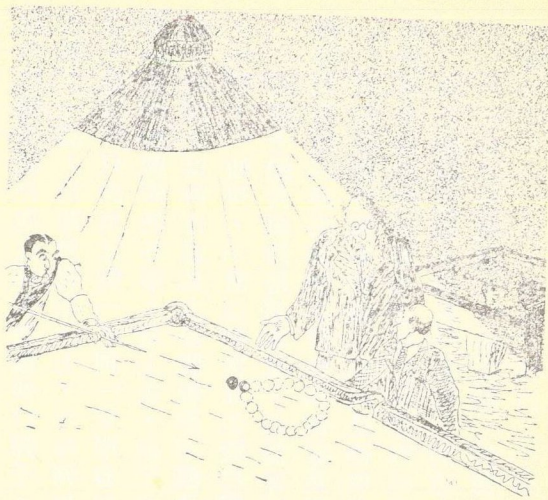
第七章 量子檯球

有一天，湯先生在銀行裡算了一整天賬，下班要回家的時候，感到十分疲倦。他經過一家酒店，決定進去喝杯生啤酒解解神。湯先生喝完一杯，又叫了一杯，不久便覺得有點昏淘淘。酒店後面是間彈子房，裡面有許多穿白襯衫的男人在中央枱子邊打彈子。他彷彿覺得以前到過這裡，有一次他有位同事硬把他拉來說要教他打彈子。他走到枱子邊會神地看着衆人打彈子。他發現了非常奇特的事！一個人把球放在桌子上，用球棒打了出去。湯先生望着球，看見它奇怪地滾着「展開」了去。他似乎只能用這個「名詞」來形容這種奇異的特性，彈子在綠色枱面上滾過去，慢慢變得像是瓦解而失去明顯的外形。看上去，似乎並不是一個球在滾，而是有無數個球一個穿過一個地連續下去。湯先生以前也看見過類似現象，但是今天他沒有喝一滴威士忌，所以目前的現象使他大惑不解。「哦，」他想，「看這個怪球怎麼打擊另外一個球！」

打彈子的人顯然是個專家，這個球正好打到另一個球上面。兩球相碰時發出很大的聲音，然後靜球與動球（湯先生分不清那個球是動的那個球是靜的）向「所有不同的方向」衝出去。是的，實在非常奇怪；枱面上不只是兩個球，而奇怪的是成了無數個球，每個球非常奇怪而且模糊，沿着本來路徑約一百八十度的角度內向前滾。它自相撞地方開始形成了展開出去的特別情形。

湯先生注意到，原來受到撞力的方向球滾得最多。

「S 形波的散發，」他後面一個熟悉的聲音說，湯先生立刻認出那是老教授。「哦，」湯先生吃驚地喊。「這裡怎麼會又彎曲了？桌子好像是完全平坦的。」



白球向各方滾去

「完全正確，」教授答。「這裡的空間是十分平坦的，你所看得，實際上是種量子力學的現象。」

「哦，一種模型！」湯先生嘲弄地說。

「也可以說是運動的不定原理，」教授說。「這位彈子房老板真有辦法，居然會找到一些可以適應我所謂『量子放大』的物體。實際上自然界所有物體都服從量子定理，但是適用於這些現象的所謂量子常數非常非常之小；實際上其數字為小數點後面二十七個零。而這些彈子的常數却非常大——幾乎等於一——你可以用肉眼看見科學家們必須使用極其準確而且靈敏的方法才量得出來的現象。」說到這裡，教授停下來想了一想。

「我並不是要亂加批評，」他又說下去。「我們這個世界裡的所有物體的量子常數都是非常的小數值。」

「也許他由別的星球上進口來的，」湯先生說，可是教授對他的答覆並不滿足仍然全心狐疑。「你應該注意到，」他又說。「這些球會『展開出去』，這表示它們在桌上的地位並不十分固定。

你實際上不能正確地指出一個球的位置，你最多只能說這個球『大部份在這裡』，而『一部份在別的地方』。」

「這點真是非常特別，」湯先生喃喃地說。

「正相反，」教授校正他的話。「這是十分平常的，換一句話說，它永遠發生在任何物體上。只是因為量子常數值太小，以及因為觀察方法過於粗陋，所以人們沒有注意到這種不定原理。他們得到一項錯誤的結論認為位置與速度是永遠不變的性質。實在上這兩項都有相當程度的不確定性，如果一項越說明得清楚，另一項便越是展開性的。決定這兩項不定性關係的便是量子常數。看着這裡，我打算把球放在一個木三角形中以說明它位置的範圍。」

當彈子放在三角形內時，整個內部充滿了象牙的閃爍光芒。

「你看！」教授說。「我把球的位置借三角形的量度來說明；例如說幾吋幾呎。這就使速度上有相當不定性，球在範圍內迅速地運動着。」

「你不能停止它嗎？」湯先生說。

「不，在物理學上，它是不可能的。任何物體在閉合的空間中具有某種運動——我們物理學家稱之為零點運動。例如說任何原子裡的電子運動便是其一。」

湯先生望着彈子在圈子裡來往衝擊，像籠中的老虎一樣，這下又發生了另一件怪事。彈子由三角壁中「漏」了出去，滾向椅子的另一角落。奇怪的是它不是由板上方跳過去，而是直直地穿了過去。

「嗯，看，」湯先生說，「你的『零點運動』跑走了。這又是那一條定律？」

「當然有的，」教授說。「事實上這是量子定律中最有意思的一種效應。只要物體越出界限後還有能量的話，便不可能把它閉封在一個容器內。物體終久有漏出逃逸的一天。」

「從此我不敢去遊動物園了，」湯先生堅決地說，他心中想像着許多老虎獅子由籠子裡「漏」出來的可怕景象。然後他的想像又轉到另一個畫面：車房鎖得好好的，而車子由車房牆壁漏出來，就像中世紀的鬼魂一樣出現在人面前。

於是他問教授，「我要等多久才能看見一輛車子由磚牆中漏過來？我倒真想開開眼界！」

教授在心中迅速地計算了一下，答：「大概需要一，〇〇〇，〇〇〇，〇〇〇……〇〇〇，〇〇〇年。」

湯先生平常在銀行裡對於大數目字已經司空見慣，但是聽見教授講了一大堆零，可真把它弄糊塗了，更別提再去擔心車子跑走。

「如果你所說的我全相信，可是我實在不知道怎麼觀察得到那些現象——要不是有這些彈子的話。」

「問得十分有理，」教授說。「當然我不是說量子現象可以由你日常看見的那麼大物體上看得出來。然而極可注意的一點，是量子理論應用在很小的物質如電子原子上時，有極顯著的成就。因為那些質點有很大的量子效應所以一般力學就不能運用了。兩個原子之間的撞擊，便像方才你看見的兩個彈子的情形一樣，而原子中的電子運動便非常接近『零點運動』，好像我方才把彈子放在三角形裡相同。」

「是不是原子常常由車房裡逃出去？」湯先生問。

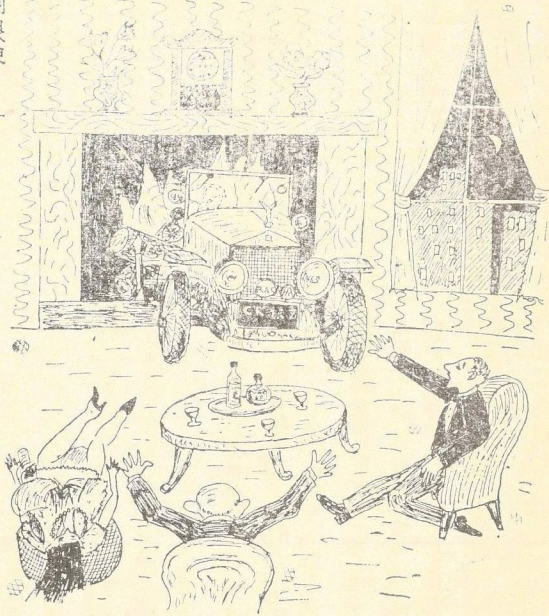
「哦，是的。你一定聽說過輻射體，它的原子自然地在分解，放出高速的粒子。這種原子，其中心的部份稱為原子核，非常相似車房，而車子便是儲存的其他粒子。它們會由這個核子的牆壁中漏穿過——有時它們在體內不會多停過一分鐘。在這些核子中，量子現象便是理所當然的事。」

湯先生談了這麼久，感到頗為疲倦，便分心地向別處看看。他立刻注意到房間角落上掛的一架老祖父鐘。長長的鐘擺正在左右搖擺。

「你似乎對那個鐘擺感到興趣，」教授說。「這也是種並不很常見的機械——不過目前它已經過時了。鐘正代表着人們首次想到量子現象的方法。它的擺錘的安排方式便是可以藉一定步驟來調整振幅。而現在的錶匠都喜歡使用專利的展開式擺。」

「唉，但願我能懂得這些複雜的學問！」湯先生驚嘆說。

「很好，」教授說。「我到這裡來，是因為我要去演講量子理論時順路經過由窗口看見你的。」



像中世紀的幽靈

現在我該走了，否則就會遲到了。你願意一同去嗎？」

「哦，當然願意！」湯先生說。

大講堂裡和以往一樣，仍然擠滿了學生，湯先生能在台階上找到個位置已是暗自慶幸了。

女士先生們——教授開始了——

在我上兩次的演講裡，我想對諸位解釋，物理學中發現了所有速度的上限，以及由分析一根直線從而重建古典物理學中對時間與空間的觀念。

物理學中的基本重要分析的發展並不止停止在這一階段，它將有更驚人的發現與結論。我現在要談論的是物理中的另一支派，所謂量子的理論，它與時空的觀點比較不發生關係，而它與在時間空間中運動的物體却有互相作用的關係。舉個例子說，在測量某種過程的熱量發展時，我們怕使用溫度計會吸取一部份熱因而對欲觀察的正常變化生出一種干涉。實驗者也一直認為只有使用最小限度的溫度計，或使用極小的熱電偶，那麼可以使這項干涉減低到最低限度而到所需精確度之內。

因此，在科學界認為任何物理變化都可以觀察到任何既定的精確度內而不會受到觀察的干涉，此一想法的權威性使任何人都不願去將此一假設作成明白的公式，而且所有此類問題都被視為是純技術的困難。到這個世紀初，新的經驗事實的累積使物理學家們逐漸了解到那是個相當複雜的情況，他們得到一個結論：「自然存在有一種不能免除的最低限度干涉。」這種自然干涉，在我們日常生活中所有變化中都可以略而不計，然而當我們處理到原子和分子的微小力學系統的互相作用時，便變得十分重要。

一九〇〇年，德國物理學家馬克斯·普朗克(Max Planck)在理論上探研物質與放射之間的平衡狀態時，得到一個很奇怪的結論：「物質與放射之間的交互作用發生並不是我們一向假設的連續性，而是一些獨立『發作』的串連」，只有在這個假設的理論下，才有平衡的可能；也就是說在這種狀況下，一定量的能才能由物質變為輻射或由輻射變為物質。為了得到這項平衡，以及使之與實驗事實相符，則必須介紹一種簡單的數學比例式，以說明每次「發作」時所移轉的能量與引向能量變化的過程頻率二者之關係。

現在以 h 代表比例係數，普朗克必須接受能量傳遞的最小部份，或稱之為量子，可以下式表示之：

$$E = h\nu \dots\dots\dots (1)$$

式中 ν 代表頻率。常數 h 的數值則等於 6.547×10^{-27} 爾格×秒，通常把它稱為普朗克常數或量子常數。由於這個數值過小，所以我們可以知道在日常生活中可以觀察不到量子現象。

普朗克思想的進一步發展，是由于幾年後愛因斯坦得到一個結論：「不但放射線的發出是各別獨立的部份，而且它永遠如此，包括一些獨立的『能量束』，它稱之為光子。」

光子運動的時候，它們應該除了擁有能量 ν 之外，還有一種力學的動量，根據相對力學，它應該等于其能量被光速。除。我們又記得光的頻率與其波長 λ 有關，其關係為 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ，因此一個光量子的動量應該為

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

因為一個運動體的衝擊所生的力的作用，是由動量表示出來。所以我們可以知道光量子的作用

隨波長減短而增加。

有個最好的實驗證明光子概念的正確性與其具有的能量與動量，那是由美國物理學家歐瑟·康普東 (A. H. Compton) 所研究出來的。他研究光子與電子的撞擊，結果電子由于光線的作用而發生運動，好像它是被具有上式能量與動量質點所打擊到一樣。光子本身與電子撞擊之後，也表示出若干變化 (它的頻率)，這與理論上的推測完全相符。

我們在目前可以說，自物質與能量可以互相作用的觀念言，放射的量子性質也是已經建立的實驗事實。

一九一三年，丹麥物理學家尼爾斯·波爾 (Niels Bohr) 對量子觀念作了進一步發展。他第一個說明「任何力學系統中的內部運動可能具有一獨立的能量價值，這項運動只有經過一定步驟而加以改變」，在這種變換時，放射出一定量的能量。闡明這力學系統的數學定律比放射方面更複雜，在此不想多說。我們只要指出，在光子方面，動量是取決于光的波長，而在力學系統中任何運動質點的動量和它移動的空間的幾何量度相關，其大小可以由下式表示出來：

$$\text{Particle } \lambda = \frac{h}{p} \dots \dots \dots (3)$$

λ 代表運動區域的線式量度，由于量子常數非常微小，量子現象只在極小空間如原子及分子中才有重要性，在我們對物質內部結構的智識中有非常重要的地位。

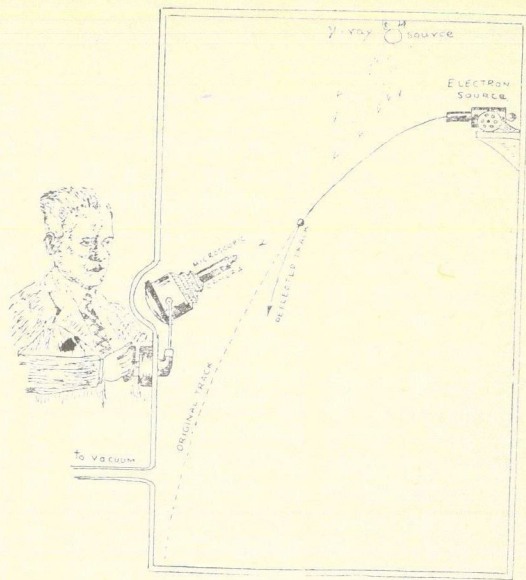
這種微小力學系統中的獨立狀態的存在，可以有一項最直接的證明，那是傑姆士·佛蘭克與蓋斯特·赫茲 (James Franck and Gustav Hertz) 的實驗。他們用不同能量的電子撞擊原子，注意到

只有當撞擊的電子到達某種能量值的時候，原子的狀態才會發生一定的變化。如果電子的能量在某一限制之下，則原子不會變化，這因為每個電子所攜帶的能量不足以使原子由第一量子狀態進入第二量子狀態。

所以在量子理論發展的第一階段結束時，我們了解它並非古典物理基本概念與原理的修正，而它或多或少地可以說是由古典連續運動觀念中選擇出來的一些神秘的量子觀念而作為人為的限制。如果我們對古典力學定理與需要以延展的經驗作前題的量子狀況二者間的關係作進一步的研究時，我們將會發現這統一的系統會遭遇到邏輯上不一致的困難，而量子限制對於古典力學的基礎觀念完全沒有意義。實際上，古典理論中運動的基本概念是建立在「任何運動質點在任何時間中佔有一定空間地位，而且具有一定速度，它隨着時間而改變軌道上的位置」理論上。

這種位置，速度與軌道的基本概念，導引出古典物理。它的形成 (與其他概念一樣) 是有賴於對周圍現象的觀察。時空的觀念可以隨着我們經驗進入前所未探到的區域而加以修正。

如果我問一位聽眾，他為什麼相信任何運動質點在所謂軌道的路徑上，任何時間有一定的速度時，他也許會回答：「因為我由運動實例上觀察到的。」那麼讓我們來分析形成古典軌道的方法，看是否能夠得到一定的結果。假設有位物理學家，他擁有一切最靈敏的器械，他想測量由他實驗室牆上扔出來的一個小物體。他決定要觀看到這物件是如何「運動」，由于這個目的，他使用一具小型而十分準確的經緯儀。要「看見」這物體，他必須將它照亮，但是他知道一般光亮會在物體上產生種壓力而影響它的運動，所以他決定在觀察時使用閃光燈作照亮之用。他在第一次試驗時，準備只觀察軌道上的十個點，他也把閃光燈源減到很弱，使燈光在十次閃亮時，其壓力產生的影響不超



海生堡的r線顯微鏡

過他所需要的準確度。物體下墮時，燈光閃了十次，於是他在需要的準確度中得到了軌跡上的十點。

現在他繼續實驗，打算得到一百點。他知道連續閃亮一百次會嚴重干擾運動，於是爲了準備第二次實驗，他選擇強度較弱十倍的閃光燈。第三次實驗時，他想測得一千點，那麼閃光燈必須比第一次弱一百倍。

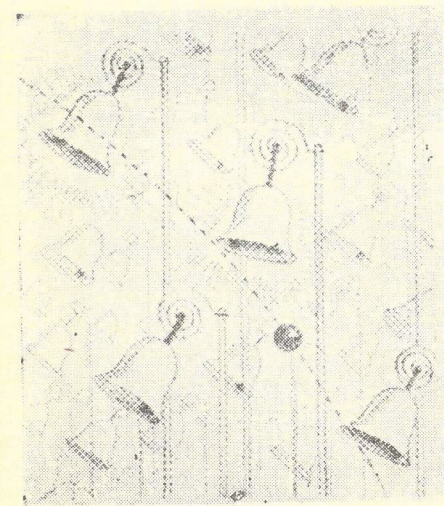
如此下去，他必須繼續減弱照明，這樣才不會超過他最初決定的誤差。這是個理想很高，原則上也十分可能的實驗，它代表「看」「運動體」的軌道的合理方法，而且在古典物理中也是十分可能的。

現在，讓我們看看，如果把運動中量子限制也考慮進去，而且加入任何放射只可以轉變爲光量子形式的因素，結果如何呢？我們方才知道那位觀察家不停地減弱光度，可是他現在會發現即使把光度減到一個量子，也無法繼續試驗下去了。運動體上不是有全部光量子，便是沒有光量子而在後者情形下根本無法觀察。我們已經知道光量子撞擊時，其效應隨波長增加而減弱，我們的觀察家自然也明瞭這點，他當然會利用增加觀察燈光的波長來補償觀察的次數。然而他在這裡又遇見另一件

困難。

大家都知道，使用一定波長的燈光，看不見在波長較小下的詳細情形。等於我們不能用漆牆的粉刷來畫出工筆仕女畫。所以波長越用越長，他會破壞了對獨立一點的判斷，而到了每一個判斷以他房間比起來都不能測定的判斷。他最後正好在許多觀察點與每個估計的不定判斷間取得妥協，如此他永遠不能像古典學者得到數學直線般的軌跡。他實驗的最佳結果可能是相當寬闊的模糊的帶子，如果他根據他的軌道觀念來作爲實驗結果的基礎，那麼與古典物理實驗會有相當的差異。

在這裡討論的方法是屬於光學的方法，現在我們可以試試其他的可能性，例如使用機械的途徑。爲了這個目的，我們的實驗家可以製造出一些很小的器械。也許，可以用一些裝有彈簧的鈴鐺，以它們來調整附近移動而來的物體的通道。他在空間中掛了許多鈴鐺，運動體經過時，鈴鐺會響起來，而指示出它的路徑。在古典物理學中，物理學家可以把「鈴鐺」作得儘量小儘量敏感，換言之可以在使無窮小而無窮多的鈴鐺，而且其軌跡可以在允許的誤差範圍內求得出來。然而力學第③式據子限制又會破壞了這個情況。如果「鈴鐺」太小，他們自運動體上所獲得的動量——根



彈簧上的小鈴鐺

動也會受到很大影響。如果鈴鐺太大，那麼每一位置的不定性也隨之增加。最後歸納的軌跡又是個展開的帶子！

恐怕考慮一位實驗家如果觀察一項物體的軌道會給人一種過於技術性的印象，諸位可能會想到，即使我們這位實驗者利用他的觀測方法不能判斷出軌道來，也許總有一種複雜儀器可以得到理想的效果。我必須提醒諸位，我們方才所討論的並不是任何特定的實驗，而是物理測量時間中最普遍問題的綜合。在我們世界中，一切作用不是由於輻射場便是由於純粹力學的，任何複雜的測量方法要素都可以歸納到上述兩種範圍中，而又得到同樣的結果。只要我們理想的「測量儀器」可以包括所有自然世界，我們終極都會得到一個結論：諸位確切位置與準確的軌跡形狀在服從量子定律的宇宙中是沒有地位的。

現在我們再回到那位實驗家身邊，看是否能給量子狀況支配的限制作出一個數學式。從上述兩種方法中，我們知道判定位置與運動體速度所受的干涉之間永遠有矛盾存在。在光學的方法中，光量子的衝擊（因為力學中的動量不變定律）會使質量與光量子動量比較下發生動量不定性。利用②式，我們可以把質點的動量不定寫成。

$$\Delta p_{\text{particle}} \approx \frac{h}{\lambda} \dots\dots\dots ④$$

又因為質點的位置不定是起因于波長（ $\Delta q \approx \lambda$ ），我們又可以把它化為

$$\Delta p_{\text{particle}} \times \Delta q_{\text{particle}} \approx h \dots\dots\dots ⑤$$

在力學的方法中，運動質點的動量將因為「鈴鐺」所取去的能量而變得不定。利用我們的第③式，並且記住在這個情況中位置的不定性是來自鈴鐺的大小（ $\Delta q \approx \lambda$ ），我們又得到上式中同樣的式子。⑤式最初是由德國物理學家魏納·海森堡（Werner Heisenberg）演算出來的，它便代表了基本的不定性——量子理論的關係——「位置越確定，則動量越是不確定，反過來也正確。」動量乃是運動質點的質量和它速度的乘積，我們可以寫作：

$$\Delta v_{\text{particle}} \times \Delta q_{\text{particle}} \approx \frac{h}{m_{\text{particle}}} \dots\dots\dots ⑥$$

我們的對象乃是小得荒唐的物體。一點很小的灰塵點，其質量為 $0.000,000,000$ 一克時，其位置與速度可以量測出來，而準確度為百分之 $0.000,000,001$ ！如果是一個電子（質量為 10^{-30} gm ）， $\Delta v_{\text{particle}}$ 的乘積將是一百次方。在原子內，一個電子的速度至少要在 10^{10} Cm/Sec 內，否則它將自原子中逸出。這表示出位置的不定為 10^{-8} Cm ，那正是一個原子的大小。因此原子中一個電子的軌道便展寬開去，軌跡寬度等于它的「半徑」。所以電子一直似乎同時在繞着核子運行。

過去二十分鐘內，我想向諸位說明批判古典物理的運動觀念會得到一個如何不幸的結果。莊肅而清晰的古典觀念一利那破碎而成為沒有形狀的稀粥。你們一定會問我，物理學家們將如何在不定的海洋中來形容任何現象。答案是：我們已經破壞了古典的觀念，但是還沒得到新觀念的確切公式。

現在讓我們繼續討論下去。顯然如果我們不能夠用數學的點觀念來定出質點位置，用數式來描

出運動軌道，因為事物展開了出去，我們只能以別的方法來形容空間不同點的所謂「稀粥」。在數學上，它表示使用連續函數（例如水力學中使用者），在物理學上我們需要使用一些特別的句法，如「這東西大部份在這裡，一部份在那邊甚至於更遠的地方」，或且「這個銅板百分之七十五在我口袋裡，百分之廿五在你口袋裡」。我知道這種說法會使諸位大驚失色，可是由于量子常數的值非常小，你們不需要在日常生活中講這種話。假如諸位打算研究原子物理，我極力勸告諸位先要習慣這種說法。

這裡我也要警告諸位留心一項錯誤的觀念，所謂形容「存在的密度」的函數，在我們日常三度空間中有物理的真實性。事實上，假如我們形容兩個質點的特性，我們必須先回答關於一個質點在一個地方的存在以及另一質點同時在另一地方的問題。這點，我們有需借助六個變數的函數（對兩個質點），它無法決定在三度空間內。對於更複雜的系統，需要更多變數的函數。所以，「量子力學函數」便與古典力學系統中的「勢能函數」相類似。它只描述運動，幫助我們預測任何質點在一定情況中運動的結果。我們所說的質點的運動有物理真實性存在。

敘述質點或質點群存在于不同地點的程度的性質有賴一些數學觀念，根據奧地利物理學家史洛丁格 (Erwin Schrödinger)，他第一個用數式寫出決定此一性質的特性。他用這個符號： ψ ，來代表。

我不打算說明這個基本方程式的數學證明，不過我想請諸位注意達到其變化的條件。最重要的條件也是最異常的一點：「方程式必須寫成以代表一切質點運動的性質應當具有一種波形的特質」。

物質運動的波動特性，是由法國的物理學家布羅格里 (Louis De Broglie) 首次提出的，他是根據原子構造的理論研究而推斷出來的。以後幾年，質點運動的波形特性由許多實驗證實，表示出電子束經過小口的繞射與較大質點如分子在干涉現象。

由古典物理學家看，物質質點的波動特性是難以想像的。而布羅格里被迫接納一個異常的觀點：質點由波形「相伴」，而波形決定運動。

當古典觀念被摧毀後，我們才由連續函數與波動特質去了解運動。我們 ψ 函數的傳導與熱由牆壁傳過並不像，而與聲音經過牆的力學變形有點相似。在數學上，我們尋求一個比較限制形式的方程式。這個方程式應當包容古典物理方程式，只不過在大質量物理中量子常數可以略去不計。

如果諸位對這個方程式感到興趣，我可以把它寫出來。

$$\nabla^2 \psi + \frac{4\pi m e^2}{h} \psi - \frac{8\pi^2 m}{h} U \psi = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

這個方程式中函數 U 代表作用于質量 m 質點的力的勢能，它可以解出任何力量分配的運動問題。「史洛丁格波動方程式」的應用，允許以後十三年中物理學家發展出最完全合理的原子世界諸現象的圖畫。

也許諸位有人會懷疑為什麼到現在我還沒有使用「距陣」這個字，因為它常常和量子理論聯結在一起。老實說，我個人不大贊成或用方陣來處理問題。可是為了不讓諸位對量子理論中的重要數學觀念無所知悉起見，我願意簡單地加以說明。一個質點或複雜體系的運動，常常是用某些連續的波形函數加以敘述。這些函數一般都相當複雜，常可以分解成許多獨立的振動，就好像一個複雜的

聲音是由許多簡單和音組成者。我們可以用不同的分式來表示整個複雜的運動。因為這些分力或和音是無限多的，所以我們把它分別用下表示之。

$$\begin{array}{ccccccc} q_{11} & & q_{12} & & q_{13} & \cdots & \cdots \\ q_{21} & & q_{22} & & q_{23} & \cdots & \cdots \\ q_{31} & & q_{32} & & q_{33} & \cdots & \cdots \\ \cdots & & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots \end{array}$$

這個表的運算是遵循相當簡單的數式，稱之爲「已知運動的『矩陣』」，一些物理學願意運用方陣來代替波動函數。有些人認爲「矩陣力學」只是「波動力學」的修改；在這次演講中我不打算在這方面作進一步的闡述。

我非常遺憾，由於時間的限制，我無法對諸位討論量子理論與相對理論的關係。感謝英國科學家狄拉克 (Paul Adrien Maurice Dirac) 對這方面的研究，而導引出許多有趣的實驗結果。也許以後有時間再來討論這個問題，但是我現在必須結束了。希望這幾次的演講能使諸位對於物理世界的現代觀念有個一般了解，而促使諸位作進一步的研究。

第八章 量子森林

第二天早上，湯先生迷糊糊地躺在床上，忽然覺得房裡似乎還有什麼人。他回轉頭發現他的教授老朋友正坐在靠背椅上，仔細地研究攤在膝蓋上的一幅地圖。

「你也去嗎？」教授抬起頭說。

「去什麼地方？」湯先生說，心裡在想想教授是怎麼進到房裡來的。

「當然是去看量子森林裡的大象和其他動物。剛才我們去過的彈子間的老板告訴了我他的秘密：象牙彈子是那裡來的。你看見我在地圖上用紅筆畫的圈圈嗎？這個地區一切事物都服從量子律，它的量子常數非常大。土人還以爲這一帶地方鬧鬼。我怕要找個嚮導可是件十分不簡單的事。你如果想要去，最好是快一點。船再一個鐘頭就要開了，我們還要順路去接李爵士。」

「李爵士？誰？」湯先生問。

「你沒有聽說過他的大名？」教授這下可真吃了一驚。他是十分有名的獵虎名家，「他決定和我們一同去，我向他保證在那邊打獵一定十分有趣。」

他們抵達碼頭的時候，水手們正在把一箱李爵士的獵槍用具搬上船去，裡面還有教授由量子森林附近鉛鑛取得的鉛作的特別獵槍子彈。湯先生在客艙裡整理行李時，船穩定地搖擺起來，表示他們已經出發了。一路海程無事可表，湯先生幾乎忘了時間歲月。最後他們在一個奇怪的東方城市上了岸，這地方是在量子森林旁邊。可以說是神秘量子地區的最近人煙之處。

「現在，」教授說，「我們要進入內陸只有買象來代步了。我看土人沒有一個會願意陪我們去

，只好由我們自己來趕象，親愛的湯先生，你必須學會這項工作。我要忙着做科學觀察，而李爵士要看管火器。」

湯先生走到鎮市郊區的大象市場時，不禁愁腸百結，他看見了就將由他照管的碩大動物。李爵士對於象相當內行，挑選了一頭，問老板多少錢。

「哈拉漢瓦何波洪。哈哥利河，」土人說，白牙齒閃閃發光。

「他開的價錢很高，」李爵士解釋說，「他說這頭象是量子森林裡抓來的，所以特別貴。我們買不買？」

「當然，」教授說，「在船上的時候我聽人說，有時候量子森林裡的大象會跑出來而被土人抓住。牠們比別處出的象比較好，對我們說來有好處，她們比較熟悉量子森林的情形。」

湯先生由各方端詳這頭大象：那是一頭非常美麗而巨大的野獸，和一般動物園裡的似乎並無分別。他轉向教授——「你說這是頭量子象，可是我看就和普通象一樣，牠的牙難道就會做出那種滑稽的拾球嗎？它為什麼不向各方面攤開去？」

「你理解程度實在相當慢，」教授說，「因為牠的質量太大。我不久以前不是告訴過你，一切位置與速度的不定性都與質量有關係，質量越大，不定性越小。所以量子律不能在普通世界裡看見，即使灰塵還是太大。不過對輕上數億兆倍的電子便是十分重要的定律了。可是在量子森林裡，量子常數很大，不過並不大到使大象按照它的程度，一頭量子象的位置不定性只有仔細觀察牠的輪廓才看得出來。你看，牠的皮膚表面似乎並不明確而有點模糊。這種不定性隨時間慢慢增加，這大概是土人傳說這種象越老毛越長的原因。我猜小一點的動物一定有相當顯著的量子效應。」

「如果，」湯先生心裡想，「我們騎着馬去探險豈不妙哉？那樣的話，我根本弄不清楚我的馬是在我胯下還是在隔壁山谷下。」

教授和拿槍的李爵士各自爬進象背兩側掛着的籃筐後，湯先生便開始執行新工作，站在象頸邊一手拉着韁繩，開始向神秘之林出發。

城裡的人告訴他們，路程約有一個小時，湯先生盡力地跟着象耳朵，希望在到達目的地前能向教授多請教一些關於量子定律的學問。

「告訴我好不好，教授，」他側着問教授，「為什麼質量比較小的東西會那麼古怪？你常常說的量子常數用普通的話說來是什麼意義？」

「哦，這些並不難懂，」教授說。「量子世界裡所有物體古怪行為，都是因為你對着它們看。」

「它們那麼害羞嗎？」湯先生笑着說。

「害羞的說法並不適當，」教授不客氣的說。「問題在於你要觀察物體的運動便不能不干擾它的運動。事實上，你要知道，當你知道一個物體的運動狀況時，那表示運動體把一些運動傳遞給你的感官或是你所用的器械。由於物體作用反作用的定律，我們可以認為你的觀察器械也作用於運動體，也就是說「破壞」了運動，而使其位置與速度發生了不定性。」

「嗯，」湯先生說，「如果我在拾球間用手指碰碰彈子，自然是會干涉它的運動，可是我只是看它一眼，怎麼會干擾它呢？」

「當然會的。在黑暗裡你看不見球的，等你把燈開亮，光線在球面反射到你眼睛，你才看得見

它的運動，而光對球的作用我們稱之爲光壓，它『破壞』了它的運動。」

「假使我使用非常精巧靈敏的儀器，能不能說我的儀器對運動體的作用可以小到不計呢？」

「在古典物理學裡，我們便是這樣想的，那是在作用量子論發現之前。這個世紀開始的時候，才明白對任何物體的作用不能達到一個限度以下，它便稱之爲量子常數，而通常用『 h 』來代表。在我們日常世界中，作用的量子非常小；用我們熟悉的單位來表示，它是小數點後面加上二十個零。不過對一些質量極小的質點，如電子等，便有非常重要的影響了。可是對我們即將到來的量子森林，作用的量子便十分大。這是一個沒有很小作用的粗魯世界，如果一個人在那裡輕輕摸頭小貓，不是完全摸不到，便是會被第一次摸上的量子擊斷頸子。」

湯先生沉思地說：「這些我懂了，不過如果假設沒人看的話，是不是物體會如我們所想像的那樣運動呢？」

「如果沒人看的話，」教授說，「誰也不知道它們究竟是什麼樣子，所以你的問題沒有物理意義。」

「哈，哈！」湯先生高聲喊起來，「真是變成了哲學問題了！」

「如果把它稱爲哲學問題又何嘗不可！」——教授顯然有點不大高興——「不過事實上，它是現代物理學的基本原則——永不要談你不能觀察的事。一切現代物理學的理論莫不是基於這個原則，而哲學家們却常常忽視它。舉個例子說，著名的德國哲學家康德花費了許多時間思想物體的性質，他要明白它們『對我們的外相如何』而不是『其內蘊如何』。在現代物理學家心目中，只有『可觀察者』（即可以觀察得到的性質）才具有意義，所有現代物理理論都是根據它們之間的相互關係。」

。不能觀察的事物只好用玄想——你可以隨便發明創造，而無需核對它的存在或對你的理論加以實用。我可以說——」

這時空中傳來一聲巨吼，他們的象猛頓一下，湯先生差點摔一跤。一大群老虎正在攻擊他們的象，同時由各方面同時猛撲過來。李爵士抓起槍，扣下扳機，瞄準最近處老虎的雙睛之間。湯先生下一剎那聽見獵人們常常發出的咕嘟聲，他的子彈射過老虎頭，可是老虎一點也沒受傷。

「再打！」教授喊。「別瞄準向周圍亂射！前面只有一頭老虎，希望能夠引起漢米頓方程式！」

教授也抓了支槍不停的射，槍聲和量子虎吼聲混成巨響。湯先生昏了頭像是置身在永恆之中。終於有一枚子彈打中了目標，他十分驚訝地望着一群虎變成了一頭，死屍橫過身體像箭一樣消失在遠處叢樹後面。

「漢米頓是誰？」湯先生等事情平靜後問，「他也是個名獵人，你要把他由坟墓中喚起來救我們嗎？」

「哦」，教授說，「對不起。在興奮的戰爭中，我一時緊張得使用起科學名詞來了——你根本聽不懂！漢米頓式是有關兩個物體間量子互相作用的方程式。它是以愛爾蘭數學家漢米頓(Hamilton)而命名的，他第一次使用這個方程式。我只能簡單地告訴你，多射幾個量子彈可以增加子彈與老虎相互作用的或然率。在量子世界裡，你知道，是不可能一射而中鵠的。由於子彈的散開以及目標本身的效應，總有射中的機會，可是並非是絕對的。在我們方才的例子裡，至少發了三十槍才打到那隻老虎，而那隻老虎被子彈的作用打得摔到老遠去。同樣的事發生在我們世界中，不過程度小多

了。我方才說過，在普通世界裡我們只要研究電子那種小質點的性格便可以舉一反三了。你可能聽說過，每個原子是由相當重的原子核和一些在周圍旋轉的電子組成的。人們常常會想，繞原子核旋轉的電子和繞太陽的行星有點相像，不過作進一層分析後，表示出要說明原子這種微小體系，普通的運動觀念是不適用的。原子中重要的作用，與作用基本量子有同樣大小，所以它的情形是推展開的。繞原子核運行的電子，在某些方面看，有點像方才的老虎，好像包圍着大象。」

「是不是也有人和我們一樣射擊電子呢？」湯先生問。

「哦，是的，核子本身有時發出具有大能量的光子或是光的基本作用單位。你也可以由外面打擊電子，那是用放射一束光線的方法。一切經過都像方才射虎一樣：許多光子穿過電子的位置而對它們沒有影響，直到有一個量子打擊到電子而把它擊出原子之外。量子系統不能只受到些微影響，要嘛就是打不到，要嘛便改變極大。」

「如果剛才那頭可憐的小老虎如果不是生在量子世界中，就不會送命了，」湯先生恍然大悟地說。

「看！羚羊！好多哦！」李爵士叫了，舉起長槍。事實上有一大群羚羊由竹林裡奔出來。『受過訓練的羚羊，』湯先生說，「牠們跑成一排，就像久經訓練的兵士一樣！我不知道這是不是也是量子效應。」

那群羚羊迅速地接近大象，李爵士預備開槍的時候，教授阻止了他。

「別浪費子彈，」他說，「一隻野獸以繞射現象運動時，很難打得到的。」

「你說什麼，一隻野獸？」李爵士驚叫道，「至少有好幾十隻呢！」

「噢，不！實際上只有一隻羚羊，因為什麼東西驚嚇了牠所以由竹林裡跑了出來。一切能『展開』的物體都有和普通光線相似的特性；通過一串通路開口的时候，例如林中相鄰的兩株竹子，它表示出繞射現象，這名詞你們在學校應當看過了。因此我們把它稱為物體的波動特性。」

李爵士和湯先生都想不通「繞射」這個神秘的字表示的是什麼意思，於是談話到此為止。

更深入量子地帶後，我們的探險家們更遇到許多其他有趣的現象，例如量子蛇，因為牠質量太小，所以更捉摸不住，還有一些很有趣的量子猴。現在他們又接近了個很像土人鄉村的地方。

「我不知道，」教授說，「這地區裡居然有人居住。由他們的吵鬧聲聽去，他們大概是在慶祝什麼。聽那鈴鐺的聲音。」

土人們繞着營火跳舞，根本看不清他們每個人的身形。人群中不斷舉起不同大小的鈴鐺。當他們更走近去一點時，一切事物包括小草屋在內全展開了開去，鈴鐺聲在湯先生耳邊變得十分難忍。他伸了手抓了什麼東西，把它一把拋開去。鬧鐘落在床邊的水盆中，濺起的冷水使他醒了過來。他跳了起來趕忙穿上衣服。上班的時間只有半小時了。

第九章 麥斯威爾的魔鬼

幾個月來，湯先生追隨老教授在物理的秘密世界裡探險遨遊，不但智識增加，而且對毛娣傾慕之心也日益增漲，於是終於鼓起勇氣向她求婚。毛娣答應之後，假禮拜堂，成了夫婦。教授當了岳父泰山，覺得有責任使女婿在物理智識方面多了解一些近代的進步。

一個星期天下午，湯先生夫婦坐在漂亮心寓的靠背椅上，她全神貫注地看時裝雜誌，另一個則讀老爺雜誌上的一篇文章。

「哦！」湯先生忽然喊了起來。「這裡有一套真正管用的賭博制度！」

「你真以為它會管用嗎？」毛娣說着把眼光由時裝雜誌上抬起來。「父親老是說世界上不可能有包贏的賭經。」

「毛娣，過來看，」湯先生說着把看了半小時的一篇文章叫她看。「我不知道別的賭經，不過這一個方法完全是根據純粹而簡單的數學，我看不出它有失敗的理由。你只要把三個數字寫下來就得了」

你把它寫在紙上，然後遵從這裡寫的簡單法則。」

「好，我們來試試看，」毛娣慢慢地感起興趣來了，她問，「什麼法則？」

「你可以看看這篇文章裡舉的例子。也許這樣學起來最簡單。如果人們玩輪盤賭，你把錢壓在紅或黑上，就像猜銅板的面和背一樣。我在紙上寫下

1, 2, 3

1, 2, 3

那麼最好的押數是外面兩數加起來的和。而一加三正是四，那麼我把籌碼押在雙紅上。如果我贏了，我把一和三劃去，那麼下次押的數字是剩下的二。如果我輸了，那麼我把輸的數字加在數列的末端，已得到下次賭注的數目。設使球停在黑面上，莊家把我四個籌碼吃走了，那麼我下一列數字便成了

1, 2, 3, 4

下一注是四加一等於五；如果第二次又敗了。文章上說我一直照法則作下去，把五加在數系後面，把六個籌碼放在桌子上。」

「你這次一定得贏了，」毛娣很興奮地說。「你不能一直輸下去。」

「不一定，」湯先生說：「我小的時候常常和小朋友玩銅板，相信不相信由你，我有一次看見連出十次面。就照書上寫的，我這次贏了。我收進十二個籌碼，可是比我原有的還少三個。根據法則，我把一和五兩個數字圈去，我的數系又成了

①, 2, 3, 4, ⑤



這次你一定會贏了！

下一次則是二加四，六個籌碼。」

「這裡說你又輸了，」毛娣嘆口氣由丈夫肩膀後讀着文章。「表示你要把六加在後面，下次下八個籌碼，對不對？」

「對，完全正確，可是我又被吃掉了。那麼現在我的數系成了

①, 2, 3, 4, ⑤, 6, 8

這次我要押十個。贏了。我把二和八圈掉，下一次是三加六等於九。這次還是輸。」

「這個例子舉得不好，」毛娣撇着嘴巴說。「到現在為止，你輸三次贏一次。不公平！」

「別忙，別忙，湯先生說起話像個神秘自信的魔術家。在循環的後面就會贏了。我丟了九個籌碼，我把這個數目字加上去，成了

①, ③, 3, 4, ⑤, 6, ⑧, 9

下十二個子。這次贏了，我把三和九圈掉，加上剩下的兩數，十個碼子。第二次贏下來後，所有的數字都被圈掉，一個循環結束。算下來，我多了六個籌碼，雖然我只贏四次而輸了五次！」

「你真的多了五個籌碼？」毛娣懷疑地問。

「沒錯。你可以看清楚，只要這個循環結束，你就淨贏六個籌碼。你可以用簡單的數學來證明，所以我說這是科學的辦法而且萬無一失。如果你不相信，你自己用筆紙畫畫看。」

「好，就算我相信你的話吧，」毛娣想着說。「可是，贏六個子可算不了一回事。」

「不然，只要你知道每個循環下來一定贏就行了。你可以不斷地繼續下去，每次由1, 2, 3開始，要贏多少錢都沒有問題。棒不棒？」

「棒極了！」毛娣大聲喊起來。「那麼你可以辭去銀行的工作，我們搬個比較好的房子，今天我看見一件貂皮大衣。只要賣……」

「一定去買，不過我們得先趕快去蒙地卡羅。許多人讀過這篇文章，趁早去，不然那位仁兄已經讓那些賭場開門大吉了。」

「我打電話給航空公司，」毛娣建議，「看下班飛機幾點鐘開。」

「何必那麼急急忙忙？」客廳裡有個熟悉的聲音說。毛娣的父親走進房，驚訝地望着一對緊張興奮的夫婦。

「我們下一班機去蒙地卡羅，不久我們就發財了，」湯先生站起來迎接岳父大人。

「哦，我知道了，」教授在安樂椅上說，「又學了什麼新賭經了？」

「這次可是靈驗的，父親！」毛娣手還按在電話機上說。

「是的，」湯先生說了把雜誌遞給了教授。「這次可輸不了。」

「是嗎？」教授微笑着說。「好，讓我看看。」他簡單地看了一會，又說下去。「這個賭經的主要關鍵是，每次輸以後便加多賭注，而贏了以後就減少。如果你輸贏之數相當平均，那麼資本便會上上下下，不過每次增加比減少要多些。在這種情形之下，你們不要多久就會成百萬富翁。不過你們一定都知道，這種平均出現的或然率就和全贏的或然率一樣小。如果我們假設你一直贏幾次或是輸幾次，看結果如何。如果你把賭博稱之為運氣，那個法則要你每贏一次便減少賭注，那麼結果總計起來也贏不了多少。反之，如果每輸一次就增加一次，那麼一連串的倒霉已經把你整垮了。你現在可以看出，你的曲線是幾次慢昇和幾次急降。賭博開始時，你先慢慢地上昇，那麼很高興看

見本錢慢慢增加。不過再賭下去，幾次急減會使你一文不名。要知道，那種曲線由一到二的結果，其或然率幾乎是零。換言之，它贏的機會等於你一次把錢統統下下去，讓輪盤一次決定。這種賭經只是讓你多賭些時間，而讓你享受到其中樂趣。如果你的目的在於彼，那麼你不用把它弄得那麼複雜。一個輪盤上有三十六個數字，誰也不阻止你在一個數目上下一個注，而每個數字下注。你的機會是三十六分之一，如果贏了，莊家付你卅六倍。如果你選的數目字在三十六次中只出現一次，那麼你的卅五個子也去了。這樣固定一個數字，玩的時間比那篇文章說的還要久。

「我所說的是輪盤莊家不偷巧的。事實上每個輪盤上都有個零，有時候兩個零，那對閒家更加不利。不管下注的人用的什麼方法，他的錢總會慢慢流進莊家口袋裡去。」

「什麼？」湯先生不信地說，「你可是說天下並沒有必勝的賭術？由或然率來說，只會輸不會贏嗎？」

「我的意思正是如此，」教授說。「而且，這種賭注的或然率比起物理現象，便一點也不重要了。看上去，物理界似乎與或然率沒有關係。如果你能發明一套擊敗自然機會的定則時，這比輸點錢要意思多了。人們可以不需要汽油駕駛車子，工廠可以不用燃料生產，其他有意思的事更說不窮盡了。」

「我在什麼地方聽說過永動機器的說法，」湯先生說，「如果我沒有記錯的話，機器沒有燃料不能動，是因為人不能在無中生有能量來。而且這種機器跟賭博沒有關係。」

「對，我的孩子，」教授同意道，他對女婿對物理稍有所解頗感得意。「這種永動機器是所謂的『第一型永動機器』，是不可能存在的，因為它和能量不減定律相反。不過我心裡所想的永動機

器則相當不同，普通把它稱之為『第二型永動機器』。那不是設計自虛無中製造能量，而是由地球、空氣或海洋中取得周圍熱量中的能。例如，你可以想像一隻蒸汽輪船，它鍋爐的能量不是來自燃燒的油料，而是由周圍水中取得熱能，事實上，如果我們能讓較冷處的能量流向較熱地方而不是反過來的話，我們便可以發明一種把海水抽取進來，取得其熱量後，把殘餘的冰塊扔下海去。一加侖冷水凝結成冰，可以使另一加侖差不多達到沸點。每分鐘打上幾加侖海水，那麼便可以很充分地供給一個相當大型的機器。自實用立場看，第二型的永動機器便和第一型自無中生有的機器一樣好。有這種機器替我們工作，那麼每個人都可以像在賭場發了橫財一樣過日子了。不幸的是它們一樣不可能，因為它們違反了或然率的定則。」

「我承認由海水中取熱供給輪船鍋爐用是個荒唐的主意，」湯先生說，「可是我不知道這個問題與或然率有什麼關連？你總不是說用擲骰子或輪盤賭來作為永動機器的可動部份吧，啊？」

「當然不！」教授笑了起來。「最荒唐的永動機器發明家也不會想出這個主意來。問題是熱的過程的性質就有點像骰子戲，希望熱量由冷處流向熱處就等於希望莊家的錢流進你口袋中。」

「你是說莊家冷而閒家熱？」湯先生問，他現在完全糊塗了。

「可以那麼說，」教授答。「如果你沒有錯過我上次的演講，你就會明白，熱只是無數個質點的迅速不規則運動，質點便是組成物質的原子與分子。分子運動得愈激烈，物體越熱。因為這種分子運動是不規則的，它服從機會的定律，所以我們知道如果一個物質由許多質點形成，那麼所有熱能的分配是多多少少相當平均的。如果物體的一部份受熱，那麼這一部份的質點運動增加，經過許多次碰撞後，多餘的能量便平均地分配在其他質點上。因為碰撞完全要看機遇，所以一些質點可能

取得了其他質點的大量熱能。熱能暫時集中在物體的一部份上，等於熱違反溫度傾向而流動，它並不是處於定律的。只是如果人們想計算出這種熱的暫時集中的相對或然律，所得到的數字是非常之小。換言之，這種現象被解釋為不可能的。」

「哦，我現在懂了，」湯先生說。「你的意思是說第二種的永動機器可能會運轉一時，不過它的機會等於擲骰子擲一百次都出七。」

「機會比那還要小，」教授說。「在賭博上的成功或然率和自然的或然率簡直小得不得比。舉個例子說，我可以計算得出房中所有空氣在桌底下自然撞擊的機會，使別的地方都形成了真空。你一次擲的骰子數目便等於空氣中分子的數目，所以我必須先知道有多少分子。一個立方厘米的空氣，在大氣壓力下，好像是有廿位零的分子，所以這房間裡的空氣分子應該有二十七位數。桌下的體積約是房間的百分之一，任何一個分子在桌下的機會是百分之一。因此，所有分子一起在桌下的機會是一百乘一百乘一百……乘的次序是所有分子數的次數。結果是小數點後五十四個零。」

「天老爺……」湯先生嘆口氣，「我看我是不能賭了。那麼這數目字便表示不可能嗎？」

「是的，」教授說。「所以你可以有把握地說，我們不會在房裡窒息死掉，你杯裡的酒也不會自己沸起來。如果你要考慮很小的體積，含有較少的骰子分子數量，那麼與統計學上分配不同變化的情形便比較機會大些。比如說，在這間房裡，在某些點。空氣分子會習慣性的較為密集些，則形成極小的不均勻，那稱之為統計上的密度變動。當太陽光經過大氣層時，這種不均勻性形成光譜上的藍線的擴散，而使天空呈現我們所熟悉的顏色。如果沒有這種密度變動現象，那麼天空永遠是黑色的，星星在白天也可以看得見。有時候有蛋白色的光流，那是表示因為分子運動的不均勻性而有些

被引到沸點左右。不過在一般說來，這種現象是極端不可能的，我們注意多少兆年還看不見一次。」

「不過在這房間裡，依然有發生的可能性，」湯先生堅持道，「對不對？」

「當然對，不過這樣堅持是不合理的，正如說一碗湯不會自己潑在桌布上，因為它的分子偶然地自同一方向接收到熱速度。」

「那麼為什麼昨天就發生了？」毛娣在一邊替她丈夫幫腔。「佣人說她沒碰桌子，而湯却潑了出來？」

教授笑了笑。「那件事，我覺得應該怪佣人，而不該怪麥斯威爾的魔鬼。」

「麥斯威爾的魔鬼？」湯先生驚奇地問。「我還以為科學家是不信鬼怪邪神的。」

「哦，你別太當真，」教授說。「克拉克·麥斯威爾(Clerk Maxwell)是著名的物理學家，他把統計學上的魔鬼介紹來只是當作個話題。他使用這個觀念來說明熱學現象上的一些論點。麥斯威爾的魔鬼應當是個快動作的傢伙，能夠隨心所欲地變換每個單一分子的方向。如果真的有這麼個魔鬼，熱量可以逆溫度而流動，那麼熱力學中的基本定律『增加熵原理』便不值一文了！」

「熵？」湯先生重述道。「我以前聽說過這個字。我有個同事有次請客，喝了幾杯下肚後，幾個化學系的學生大唱了起來——

『增加，減少，

減少，增加，

我們管什麼

鬼熵的作用了？』

調子倒蠻好聽的。到底熵是什麼？」

「解釋並不困難。『熵』只是個術語，用來形容任何物體或物體群中分子運動不規則的程度。在分子中許多不規則的碰撞有增加熵的傾向，因為任何統計上集合體的最可能狀況便是絕對的不規則。假如我們能夠差喚麥斯威爾的魔鬼，他可以把分子的運動排成規律，就像趕牛趕羊一樣，而熵便會開始減少。我也應當告訴你，根據路得維奇·鮑茲曼（Ludwig Boltzmann）給科學界介紹的所謂H—定理……」

他顯然忘了對方是位對物理學實際上一無所知的人而不是研究院的學生，許多專門術語滾滾而出。湯先生對泰山大人這種口若懸河式的說教已經習慣了，所以他慢慢喝着威士忌，裝出一副聰明哲學家的派頭。可是這種物理學的高潮對毛娣太過份了點，她在椅子上，努力掙扎睜開眼睛。爲了解除睡意，她起身去看晚飯準備好了沒有。

「太太有什麼吩咐嗎？」一位昂藏整齊的男僕人看見她走進餐廳後鞠躬對着她說。

「不，你作你的事去吧，」她說，心裡想這個人在這裡作什麼。他們家好像沒有男傭人，他們也用不起男傭人。那人很高很瘦，橄欖色的皮膚，長長尖尖的鼻子，綠眼睛中似乎發出火焰一般的光芒。毛娣脊骨上傳下一道寒意，她忽然注意到他額角上黑髮下長着一對對稱的突骨。

「我要不是在做夢，」她想，「便是這位仁兄是浮士德中的引證者，由歌劇舞台上下來的。」

「是我丈夫僱用你的嗎？」她大聲問，像是在找話說。

「可以說不是的，」奇異的僕人說，手像藝術家在桌子上碰碰。「事實上，我出於自己的意志到這裡來，來證實給你父親看，我並不是他所以爲的神秘人物。讓我自己介紹。我是麥斯威爾的魔

鬼。」

「哦，」毛娣嘆口釋然的氣。「那麼你不是壞的惡魔，專門傷害人的。」

「當然不是，」魔鬼爽朗地笑着說，

「不過我生性喜歡開頑笑，現在就想跟你父親開個小頑笑。」

「你想怎麼樣？」毛娣心中不安地問

「我只想像他看看，增加熵的原則也可以推翻的。爲了要證明給你們看，我希望你能陪伴我，那我就感激不盡了。我向你保證，沒有一點危險。」

他話說完之後，覺得魔鬼有力的手握着她的小臂，她身邊的周圍似乎成了瘋狂世界。她餐廳中的熟悉東西開始以極大速度長大起來，她最後看見一張椅背擋住天邊視線。等事物安靜下來之後，她發現男伴支持着她懸浮在天空中。一些朦朧不清網球大小的圓球在朝各方面急駛，但是麥斯威爾的魔鬼靈巧地在其中閃避行動，毛娣低頭看見下面像是有艘漁船，甲板上堆着閃亮的一堆堆魚。可是那不是魚，也是無數多的圓球，就像在空中飛舞的一樣。魔鬼再領她走近去，直到她置身一個粗糙稠密的海洋，圓球以雜亂的型式移動。



地獄就是這個樣子嗎？

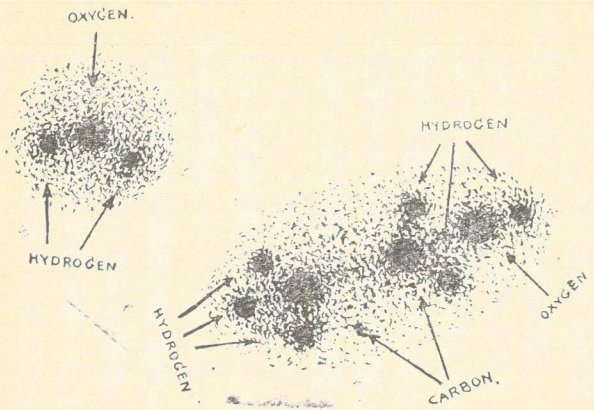
有些球沸騰到表面，另一些則被吸沉下去。偶然有個球速度特大，脫離表面飛到空中，也有些球由空中飛投下去，沉到下面數千圓球群裡去。毛娣仔細地看過之後，才發現球有兩種。大多數如果像圓球，那麼有一部份像長長的橄欖球。它們都是半透明的，內部的構造相當複雜，而毛娣看不清楚。

「我們是在什麼地方？」毛娣驚問，「地獄就是這個樣子嗎？」

「不，」魔鬼笑道。「再沒有比它更奇怪的了。我們只不過是看一個高腳杯的內部，它使你丈夫不至於入睡而可以聽你父親的高論。這些球都是分子。小圓球是水分子，比較大的是酒精分子。如果你去計算兩種球的比列，你就可以明白你丈夫喝的酒有多烈了。」

「有意思，」毛娣說。「可是水裡面是什麼，像兩隻鯨魚在嬉水。那總不會是原子鯨吧？」

魔鬼望着毛娣手指的方向。「不，那不是鯨魚，」他說。「事實上，那是炒燕麥的細碎粒，它使酒更芬香可口，每個細粒是由數百萬又數百萬個有機分子組成的，它比較大也比較重。你看它們跳來跳去因為水和酒的熱運動給它們的衝量。這種中型粒子才是普通研究對象，小得足夠受分子運動的影響，而又大得可以讓高倍顯微鏡看見，它



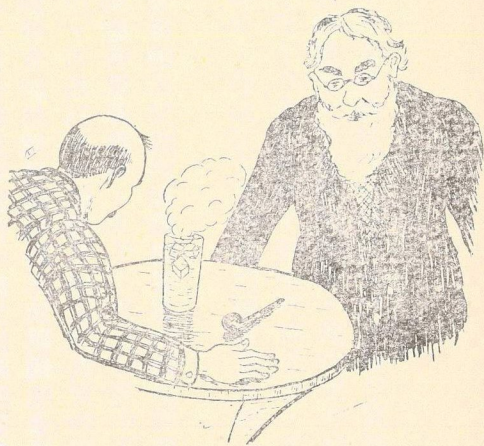
給科學家們熱動量理論的第一個直接證據。測量懸浮在液體中細粒的舞蹈，便得到一般所謂的布朗運動，物理學家可以對分子運動的能量得到直接資料。」

魔鬼又領着她穿過空中，直到一堵大牆前，那是用無數排列整齊得像磚頭一樣的水分子組成的。

「多有意思！」毛娣喊，「我有張畫像正需要這種背景。這美麗的建築是什麼呢？」

「哦，這是冰塊的一部份，你丈夫手上杯子裡有好幾塊冰塊，」魔鬼說。「現在，對不起，我要和這位自信的老教授開個玩笑了。」

說完之後，麥斯威爾的魔鬼讓毛娣扶着冰塊懸崖邊，就如同一個無望的爬山家一樣，開始去做自己的工作。他拿着個網球拍一樣的東西，在揮打着周圍的分子。他跳來跳去，及時把一些頑固不聽話向別處飛去的分子趕上正途。毛娣不禁欽佩起他的速度與準確，發現他把幾個最難趕的分子馴服時也不禁歡叫起來。她以前看過的網球冠軍比起他來也會瞠然失色。幾分鐘後，魔鬼的成績看得出來了。現在一部份液體表面蓋滿了動作十分緩慢的安靜分子，而她脚下的部份比以前更加洶湧起來。分子蒸發逸出表面的迅速地增加。它們現在千個萬個地成群逸走，像大氣泡一樣撕破表面而去。



聖燭萬歲！它沸騰了！

。然後一陣水氣擋住了毛娣的視線，她只偶然看見瘋狂分子群後魔鬼的燕尾服下擺。最後她冰壁上的分子牆也垮了，她掉下去，到無邊的蒸氣雲中……

雲層清朗後，毛娣發現自己又坐在沒去飯廳以前的椅子上。

「聖燭萬歲！」她父親高呼起來，瞪眼困惑地望着湯先生手上的高腳杯。「它開了！」杯中液體蓋滿劇烈沸騰的水泡，一條蒸氣柱一直慢慢昇向天花板。真奇怪，杯中的酒只有冰塊邊一小部份在沸騰，其他部份還是冰冷的。

「想想看，」教授以敬畏而顫抖的聲音說。「我不是對你說過熵定律中統計變動的現象，現在我們果然看見了！這種機會簡直是令人難以置信，也許是有地球以來第一次，比較快的分子都集中到水面一部份地方來，水自己沸了！以後幾兆年中，可能只有我們看見過這種異常的現象。」他看着慢慢冷下來的酒杯，「我們運氣多好！」他高興地喘息着說。

毛娣笑着不開口。她不願和她父親爭辯，這次她覺得她比父親更有學問了！

第十章 快樂的電子部落

幾天後，湯先生用過晚飯，記起今晚正是岳父教授大人演講原子結構的時候，他早就答應過去聆聽就教的。可是他想起教授那一副岸然而滿口術語的樣子，不禁害怕起來。他決定今晚裝着忘記了，拿本書坐在安樂椅上，靜靜地享受一個安靜的夜晚。可是當他拿了書坐在椅子上，毛娣不識相地打斷了他，堅決而溫柔地告訴他應該走了。半小時後，他坐在大學教室的硬板凳上和一群熱心的年輕學生聽教授演講。

「女士先生們，」教授在眼鏡後望着大家開始說了。「我在上次演講中答應給諸位詳細地談談原子的內部構造，也討論它結構中物理與化學的一些特性。諸位明白，原子不再是物質中不可分開的構成質點。它的基本物質已被電子、質子等所取代。」

「關於討論物質中最小而不可分的質點，可以追溯到古代希臘哲學家德漠克利圖，他是公元四世紀的人。德漠克利圖考慮着物體潛在的性質，他遇到了物質的結構問題：物質是否可以無限地分成微粒下去。在當時，解決問題的唯一方法是純粹思想，而且在當時這個問題無法用實驗來佐證，所以德漠克利圖只有靠自己思想來求得答案。根據一些曖昧的哲學思考，他最後得到的結論是它「難以想像」，物質可以分成微粒粒子，而可毫無限制地分下去，而一個人應當假設世界上存在有「不可再分的最微細粒子。」他稱那粒子為「原子」，諸位可能知道，「Atoms」在希臘語中是「不可分」的意思。

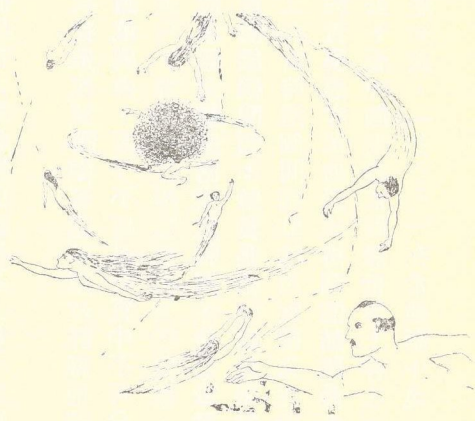
「我不想低估德漠克利圖在自然科學進步的偉大貢獻，不過我們要注意，除了德漠克利圖和他

的門生外，還有一派希臘哲學，認為物質分割的過程可以無限止地繼續下去。這個答案的獨立性將有待於未來正確科學去決定，不過希臘古代哲學思想在物理歷史上佔有了忠實的地位。在德漠克利圖時代，以及以後數世紀中，物質不可再分的部份只代表一項純哲學的假設，到了十九世紀，科學家們才認為他們終於找到二千餘年前古代希臘哲學家預言的物質組織不可分的基石。」

「事實上，一八〇八年，一位英國化學家，約翰·道爾頓顯示出相對間的比例……」

教授講到這裡時，湯先生開始覺得一陣強烈的閉眼衝動，便一直睡到演講結束，使他睡覺的原因，完全是因為凳子太硬的關係。於是由湯先生坐在那個角落中，發出了輕輕的呼吸聲。

當湯先生睡着時，不舒服的凳子似乎溶成飄浮在太空的欲仙感覺。他睜眼發現自己以相當迅速的速度在空間來往衝游。他向周圍四望，看見在這次奇怪的旅游中他可並不孤單。他附近有許多迷朦如霧般的形體，正沿着中央一個較重的物體在繞行。這些奇怪的東西是成双成對的，歡天喜地地互相追逐，沿着圓形與橢圓形的路徑。湯先生忽然感到非常孤單，覺得在這個天地中，唯有他形隻影單。



「我為什麼不把毛娣帶來？」湯先生憂愁不快地說。「在這快樂的天地中我們一定也會如魚得水。」他運動的道路是在那群家庭的最外面，他非常希望加入進去，但是孤零零一個人使他打住了那個念頭。這時，有一個電子（到這時候湯先生才發現自己奇蹟般地進入了電子世界）正到橢圓形軌道一端，接近他的身邊。他決定向它抱怨一番。

「我為什麼沒人和我一起玩？」他大聲對它喊。

「因為這是個奇怪的原子，而你是有原子價電子……」電子轉回跳舞群時叫道。

「有價電子孤獨居住，或者是在別的原子裡去找同伴，」另一個電子衝過來以女高音的尖聲叫

「如果你要找個好伴侶，
跳到氯氣裡去試試看。」

另一個電子高聲唱。

「我看你是新來的，孩子，非常孤單，」他上面有個友善的聲音說，湯先生抬頭看見一個穿褐色緊身服矮胖身材的教士。

「我是鮑利尼神父，」教士說下去，他過來和湯先生一起前進，「我的工作是指導原子裡電子的社會生活和道德士氣。我的責任是使這些電子適當地分配在不同量子室中，那是我們偉大的建築師尼爾斯·波爾建起的美麗原子結構。爲了維持秩序與保有特性，我決不允許兩個以上的電子遵循同一個軌道；否則就會發生大麻煩。這樣一來，電子永遠成双結對地繞行，如果一個軌道已經一對存在了，便不允許其他侵略者。那是一個好規律，我敢說，到目前爲止還沒有一個電子敢打破我



的戒條。」

「也許那是好規定，」湯先生反對了，「不過在目前，我覺得不太方便。」

「我懂，」教士微笑地說。「那只是你的運氣不佳，剛好成了奇怪原子中的帶價電子。你屬於的鈉原子，由於它原子的帶電（核子便是你看見的中央大黑團），而使十一個電子附着於它。不幸，你知道，十一是個奇數，換言之，你認為一半是奇數，另一半則是偶數。因為你是後來者，所以我只好暫時孤獨一段時間了。」

「你是說我以後有機會進去？」湯先生熱心地問。「把一個老的踢出去好嗎？」

「不大好，」教士對他揮揮手指說。「不過，內圈的電子當然也有機會被外在的干擾扔出去，留下一個空位。不過，如果我是你，我不指望那種機會。」

「他們建議我最好是進入氯氣裡去，」湯先生對鮑利尼神父的話感到有點洩氣。「你能告訴我怎麼辦嗎？」

「年輕小伙子！」僧侶悲感地說，「你為什麼那麼急着找同伴呢？你何不利用上帝給你的孤獨

機會讓你的靈魂在安靜中沉思一下呢？為什麼一定要下凡入紅塵呢？如果你非找朋友不可，那麼讓我來幫你的忙吧。如果你看見我用手手指點，你就會看見一個氯原子接近我們，既使在相當遠的距離，你也看得見一個無人居住的地點，那邊一定會歡迎你。空的地方是電子的外層，稱為M壳的，那是由四對八個電子組成的。可是你知道，四個電子向一方轉，而另一方只有三個，有一個空着的位置。內層稱之為K與L壳，是完全佔得滿滿的，那個原子會歡迎你去完成它的外壳。當兩個原子接近時，你就跳過去，價電子都是這樣的。上帝祝福你，孩子！」這句話說完後，這位電子教士便隱退入稀薄的空間去了。

湯先生這下情緒轉好了些，他鼓足力量，向經過的氯原子的軌道跳縱過去。當他風度優雅，身手矯捷地跳過去後，驚訝地發現已身置於氯原子M壳的友善環境中。

「很高興你來加入我們！」他對另的新同伴優雅地滑行於軌道上說。「現在誰也不能說我們是不完全的社會了。我們可以好好玩玩！」

湯先生承認是很好玩——非常好玩——可是心中又浮起不安的念頭。「我和毛娣再見的時候將對她怎麼解釋呢？」他心中頗感歉咎，不過這種情緒一閃即逝。「她當然不會介意的，」他心想。「何況，這些只是電子而已。」

「你離開的那個原子現在怎麼不離開呢？」他的同伴撇着嘴不高興地說。「它還希望你回去嗎？」

事實上，鈉原子的價電子離開之後，它便貼近在氯原子旁邊，好像它真希望湯先生改變主意跳回孤獨的軌道中去。

「哦，你倒想得不壞啊！」湯先生生氣起來，皺眉對着首次冷淡對待他的原子。「好像是狗佔了馬槽，啊？」

「哦，他們老是喜歡這樣，」M壳上另一個比較世故的會員說。「我知道，鈉原子裡的電子倒不見得希望你回去，想要你的是鈉的原子核。普通中央的核子與保護它的電子總有點意見欠和；核子希望能有多少電荷，便要多少電子圍繞它，而電子們只希望有足夠的數量使外殼完全便行了。只有少數幾種原子模型，就是所謂的罕有氣體，或德國化學家所稱的高貴氣體，那些氣體中統治的核子與附屬的電子保持充分的和諧。這些原子如氮，氖，氬，對它們本身的情況絕對滿意，既不想排斥原有電子，也不想吸引外來電子。它們在化學性上不活潑，遠離其他別的原子。可是其他原子的電子集團便永遠想改變它的會員。在鈉原子中，它正是你的故鄉，核子與電子數要維持平衡的話却多了一個電子。反之，在我們的原子中，電子數離平衡狀態却少了一個。所以我們歡迎你來，雖然你走了之後使我們核子的負擔超載。不過只要你留在這裡，我們的核子便不能維持正常，因為多了一個電荷。方才的鈉原子也因為電子吸引力的關係不願離去。我曾經聽我們偉大的鮑利尼神父說，這種原子社會，一個多了個電子，一個少了個電子，稱之為負與正「離子」。他也使用「分子」名詞，便是說由p電子力量連結起來的兩個以上原子集團。他把鈉與氯的特別結合分子稱為「食鹽」，我不知道那是什麼東西。」

「你說你不懂食鹽是什麼東西？」湯先生說，忘了他是在和誰談話。「你早上吃蛋的時候加什麼調味品？」

「什麼？蛋是什麼？調味品又是什麼？」那個電子問。湯先生愣了一下才知道對這位同伴解釋

人生等於對牛彈琴。所以我對他們說的什麼價和壳也莫名其妙，他們顯然想把電子世界中的學問和術語一古腦灌輸給我。然而現在要脫離它可也不簡單了。

「你可別以為，」他又說下去，「原子結合而為分子一定是由價電子完成的。有些原子，例如氧氣，還需要兩個電子完全它的壳，也有些原子需要三個電子四個電子。換言之，有些電子的核子含有兩個多的——或是價——電子。一旦這些原子相遇，便發生跳越的現象，普通都是數千萬原子組成的。還有一些稱為「對稱」的分子，就是說由兩個同樣的原子結合的，不過那是頗不愉快的情況。」

「什麼，不愉快？」湯先生的興趣又提起來了。

那個電子說，「要它們結合在一起可得花很大功夫。不久以前，我剛好做了那麼樁工作，那次可真夠我受的。哦，那可不像價電子跳到另一個原子去，讓缺少電子的原子在一傍伺候。不，老兄！為了使兩個相同的原子連在一起，他必須跳來跳去，在兩個原子間來回不停。我的天！就像個乒乓球一樣。」

湯先生又吃了一驚，這個電子不懂得雞蛋，却會說出乒乓球的話。不過他沒有多加追究。「我再也不做那種事了！」那個懶電子喃喃地說，像是想起了一樁不快的事。「我現在多舒服了。」

「且慢，」他忽然又記起什麼事來。「我發現了一個更好的去處。再——見——」他猛然一跳，衝向原子內部去。

他望着同伴跳去的方向，心中才明白過來。大概是原子內部有個電子被外面急速運動而打進的

電子所撞出去，而K壳中空出了個舒適的位置。湯先生既然失去了那個高昇的機會，便以極大興奮望着方才談伴去的道路。那個快樂的電子向原子內部越去越深，更凱旋的飛行伴隨着明亮的光輝。一直到它納入內層軌道為止。

「那是什麼？」湯先生眼睛都看痛了，他問。「爲什麼會發亮？」

「這種變化相偕而來的X光放射現象，」另一個電子同伴笑着對他說。「我們任何一個深入原子內層時，多餘的能量會以放射形式發出去。這個幸運的傢伙跳了一大步，放出許多能量。我們常常對較近的跳遠感到滿意，我們的放射稱爲『可見光』——鮑里尼神父正是那麼說的。」

「不管你怎麼說，如果你說X光是可見光，」湯先生反駁道，「我要說你所用的名詞令人得到錯誤的觀念。」

「哦，我們是電子，對任何種放射都會覺察得出來。不過鮑里尼神父也對我們談起過巨大的生物，他把他們稱之爲『人類』，他們只能見到狹窄的能量區域範圍，或者他所稱的一定波長範圍。他告訴我曾經有位偉人，好像是名叫樂琴的，曾經發現那種X光，現在他們把它用作醫療用。」

「哦是的，對那個我倒還知道一些，」湯先生說，覺得現在正是表現他智識的時候了。「要多講點給你聽聽嗎？」

「不，多謝，」電子打個呵欠說，「我才不想知道呢。你可以別開口一會好嗎？跟着我好了。」

於是湯先生靜靜地享受着在空間與其他電子像天空飛人樣的遨遊着的趣味。猛然他感到汗毛倒豎，這種經驗他曾在荒山中遇到暴風雨時有過一次。顯然有種電子干涉接近他們的原子，打破了電

子運動的和諧，強迫電子們嚴重的改變他們的軌道。由一位人類物理學家的觀點看，那只是一道紫外線光波經過原子，不過對微小的電子來說，可真是一場大電子風暴。

「緊緊抓住！」他的同伴高喊，「否則你會被光效應拋出去！」但是災害已經發生了。湯先生已自同伴中被拉了出去，以嚇人的速度在空間捲飛，就像被一雙有力的手指抓住一樣。他氣急地向空間急衝，撕穿過許多不同的原子，速度快得他分不清原子的種類。忽然前方出現個大原子，他知道一定會撞擊上去。

「對不住，我正在光效應之下，我不能……」湯先生彬彬有禮地說，但是話還沒說完，他已經和外圈的電子碰個對着。兩個人頭碰頭腳碰腳地摔進空間去。不過湯先生在碰撞中失去了他的速度，這才能清醒頭腦看看周圍的環境。他旁邊的原子比他以前看的要大上許多，他數了數，每個原子有二十九個電子。如果他以前能把物理學讀得好一點，他就會認出那是銅的原子，不過在這種情形與距離下看來，沒有一點點銅的樣子。湯先生發現原子吸引電子的方法也並不特別出奇之處，特別是外圈電子。事實上，外圈的軌道大部份是空着的，一些不連的電子群懶懶的在空中移行，常常也作些小小的暫短停止，尤其是在原子與原子之間的郊區。他方才的急飛一陣使他腰酸背痛，現在一直想能在一個銅原子的軌道上穩定地休息一下。不久，那些慵懶電子的態度感染了他，他也參加那一群無所是事的運動行列。

「這邊的組織並不健全，」湯先生自言自語地說，「太多電子不管公眾的事。我想鮑里尼神父應該設法阻止才是。」

「爲什麼？」僧侶熟悉的聲音忽然又在耳邊響起。「那些電子不服從我的命令。而且他們也在

做很有意義的工作。你也許想知道如果所有原子都把電子吸得緊緊的，就不會有導電現象了。那麼你家裡也不可能沒有電鈴，也不可能沒有電燈電話了。」

「哦，你說他們那些電子帶電流？」湯先生問，希望能轉上一個他比較熟悉的話題去。

「第一，孩子，」教士嚴肅地說，「別用『他們』，應該用『我們』。你大概忘了你自己也是個電子，當有人按着連結這銅線的按鈕時，電子力量使你和其他導電電子衝去叫佣人，或做些別的事。」

「可是我不願意！」湯先生堅決地說，聲音中帶着愠怒。「老實說，我已經做電子做得厭倦起來了，我覺得一點樂趣也沒有。帶着電，做這個做那個，那麼做人還有什麼意思！」

「不會永遠作下去，」神父說下去，老實說，他也不願意在一個抱怨的電子身上花太多功夫。「你隨時有消滅而不存在的可能。」

「消——消滅？」湯先生覺得背脊骨上一陣冷意。「我還以為電子是永恆的。」

「以前的物理學家是這麼想，不過近代又不然了，」鮑里尼神父對自己話所生的效果頗覺得有趣。「那是不正確的。電子和人一樣，有生亦有死。當然，那並不是老死或病死，而且碰撞而死。」

「我不久以前才碰撞過一次，而且相當嚴重，」湯先生的自信心稍為恢復了一點。「如果那次打不死我，還有什麼會打死我呢？」

「那不是碰撞的力道有多大的問題，」鮑里尼神父糾正他。「要看對方是何許人也。在最近一次，你可能是碰到一個負電子，它和你十分相似，那是一點危險也沒有。那就像一對羊一樣，抱

在一起轉個幾年。不過電子另外還有一種，那是正的，最近才由物理學家發現的。這些正的電子，或是正子，它是和你的樣子完全一樣，唯一的差別是正子的電荷是正的而不是負的。當你看見這種傢伙接近時，你會以為你們是同一個家庭的兄弟，於是高興地去做歡迎它。等你發現時已經悔之過晚了，它不但會排斥你；而且會吸住你。當那時，你已經無可奈何了。」

「多可怕！」湯先生驚叫道。「一個正子會吃下多少個電子？」

「幸虧只吃一個，因為在毀滅負電子時，正子自己也隨之消滅。有人把它稱之為自殺俱樂部，尋找同歸於盡的同伴。所以一個負電子遇到它可是兇多吉少。」

「幸而我沒有碰到這種妖怪，」湯先生對這件事耿耿於懷。「希望它們的數量不多，是不是？」

「不多，嗯，不多。因為它們老是在找麻煩，所以一生下地便立刻死亡了。如果你再等一會，也許我可以替你介紹一個。」

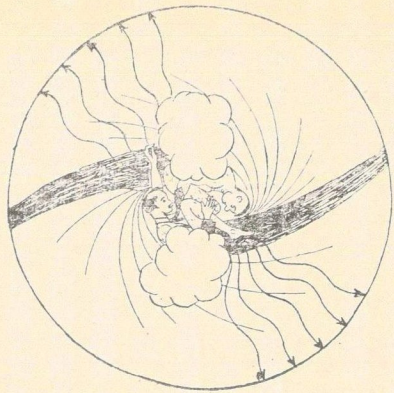
「哦，是的了，」過了一會鮑里尼神父說。「如果你仔細點看那邊的重核子，你就會看見一個正子誕生了。」

教士所指着的原子正遭受強力的電磁干擾，因為外界有股放射線正打在他身上。那是比方才把湯先生擊出氮原子更強的風暴，最後原子的外界電子被驅逐，像颶風中的落葉似的。

「仔細看那核子，」鮑里尼神父說，湯先生注意到一項極其異常的現象發生在被破壞的原子深處。非常接近核子的地方，在內層電子壳裡面，兩個模糊的影子正在形成，一秒鐘後，湯先生看見兩個全新的電子以極大速度由出生地衝出來。

「可是我可以見到兩個，」湯先生說，他被目前的奇景迷住了。

「不錯，」神父說。「電子的出生是成双成對的，否則便和電荷不變定律違背了。兩個質點，在強伽瑪線對核子的作用下誕生，一個是通常的負電子，而另一個是正子——正是兇手。他現在正在尋找個倒霉鬼。」



「噢，如果正子出生的目的是毀滅一個電子，而產生另一個普通電子，那麼事情不算太壞，」湯先生想了想說，「至少，不會完全消滅電子這個部落，而我……，」

「小心！」教士一把把他推開，而那新生的正子以一寸之差由他身邊掠過。「如果這些兇手質點，你必須時時注意。不過，我已經和你談得太久了，我還有別的事要做……」這時教士失蹤了。湯先生這時覺得比以前更加寂寞，而且更小心翼翼地注意每一個移來的電子是否包藏着有禍心。於是他又長期——在他看來有如數世紀——地擔負起導電電子的任務。

終於他預期的事發生了。他心中有強烈與人談天的欲望，那怕是個愚蠢的導電電子也好，他向一個慢慢在移動的電子走過去，終於有個新來的電子出現在銅線上。但是移近後，他才發現大事不妙，對方有種難以抵禦的力量把他拉過去，而令他無法抽身。他努力掙扎開去，但是他們之間的距離越來越短，湯先生幾乎看見對方臉上有猙獰的笑容。

「放開我！放開我！」湯先生張大嗓子喊，雙手双腿拼命打踢。「我不願被毀滅！我願永遠傳導電流。」但是一切呼救均屬無效，周圍的空間忽然被一陣眩目的巨大放射光芒照亮。

「我既然已經消滅了，」湯先生想，「怎麼我還能思想呢？是否我身體雖然死亡，而靈魂昇上了量子天堂？」這次他覺得有溫柔的力量在搖他，他睜開眼睛發現是大學的工友。

「對不起，先生，」他說，「演講已經結束了有一會了，我們要把大門關上了。」湯先生打個呵欠，一臉不自在。

「晚安，先生，」工友說了對他同情地笑笑。

第十一章 湯先生入睡時漏聽的演講

在一八〇八年，一位英國化學家約翰·道爾頓（John Dalton）證明出來不同化學元素的相對比例永遠可以用正整數來表示，他對這個以實驗為主的定律解釋作因為所有物體本質是由許多數量不同代表各簡單化學元素的質點所組成者。中古時代的煉金術無法將一種化學元素變為另一種元素，表示了那些質點之不能分割性，所以當時先賢毫不猶疑地把它們命名為「原子」——那是古代希臘的名詞。一旦這個命名成立後，後人便沿用不改，雖然我們知道「道爾頓的原子」並不全然是不可分的，而且事實上它是由許多更小質點組成的，我們閉上眼睛便可以察覺到它和它的名稱有思想與哲學上的不一致性。

因此，現代物理學家所稱的原子並不是原始與不可分割的實體單位，正如德漢克利圖所想像者來，會導致極大的騷亂，幸而物理學家們對這個名詞的哲學意義並不深加追究。所以我們如果用道爾頓本來的原子一詞，應該是指的電子、正子等那些「基本質點」。

以德漢克利圖的詞意來說，我們現在相信那些名字指的是「真正」基本而不可分割的小質點，也許諸位會問我是否歷史不會重複，是否科學將來進步後，現代物理學的基本重點並不十分複雜。我的答覆是，雖然誰也不敢保證它不會發生，不過我們有很好理由相信在目前是完全正確的。事實上我們知道現在有九十二種不同的原子（正是九十二種不同的化學元素），每種原子都擁有相當複雜的特性；這種情況使科學家沿着歸納的方法把它們加以簡化。由另一方面看，今日物理只認識少

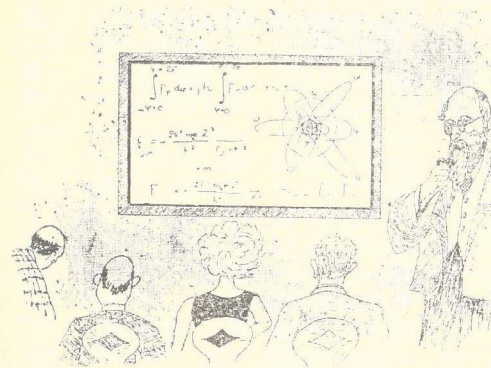
數幾種不同的質點：電子（正負輕質點），核子（帶電或中性較重的質點，也稱之為質子）。以及也許有一種特性尚未完全明白的微中子。

這些基本質點的性質則十分簡單，而且無法再作進一步的歸納與簡化；而諸位了解，如果諸位要想建立一些相當複雜的事物，一定要有幾種基本的概念來供你運用；有上兩三種也不算太多。所以，以我的看法時諸位可以放心大膽地打個賭，現在物理學中的基本微粒是名符其實的。

現在我們回到道爾頓原子由基本微粒建立起來的方法。這個問題的第一個正確答案是在一九一一年由英國著名物理學家恩斯特·路塞福（Ernest Rutherford）提出來的，他當時以一些高速運動的微細粒子稱之為「亞爾法粒子」的去撞擊不同原子以研究原子結構，亞爾法粒子是由放射物體蛻變過程中發射出來的。他觀察到這些放射線在通過物體時所發生的折射（散射）得到一個結論；所有原子一定都擁有非常沉重的正電中央體（原子核），周圍包繞着一種相當稀薄的負電子雲。今日我們知道原子核是由一定數量的正子與微中子所組成的，而其總名稱為核子。它們由極強的親和力吸在一起，而原子核外圍的負電子又被核子正電的力量吸聚在外層。組成外層的電子數決定了原子的物理及化學性質，化學元素的自然次序由一個（氫原子）到九十二（最重的元素鈾）。

路塞福的原子模型雖然相當簡單，可是經過詳細研究後，實在也是很簡單的。根據古典物理學家的理論，圍繞原子核旋轉的負電子經過放射過程（光放射）會失去其能量，又由於穩定的損失能量，所有外層電子都會在極短瞬間崩潰在核子上。在古典物理學看來這似乎是合理的結論，但在事實上却不然。原子外層是擔當穩定的，電子不但不會崩潰在核子上，而且會不斷地繼續循環下去。因此我們可以看見古典力學理論，與原子微小世界中力學性質的根本差異。這個事實使著名的丹麥

物理學家尼爾斯·波爾 (Niels Bohr) 體會到自然科學中支配了數世紀的古典力學理論，現在應當被認為是有限制性的理論，只能夠應用於日常生活的巨大世界中，而絕對無法解釋不同原子間的微細運動。新歸納出來的力學理論也應當包括原子力學的微細運動，波爾提出他的看法，認為「古典力學中所有無限多的運動型式，只有少數幾種可能發生在自然界」。這些允許的運動型式或軌跡必須依據某種數學情況加以選擇，這便是波爾理論中所謂的「量子狀況」。我在這裡不打算詳細說明量子狀況，不過只想說只有在那種選擇下，它們所有的限制在運動體較原子大很多時便失去了意義。因此新的微粒力學理論在運用於大物體時，便與古典物理所提示的有相同結果（相類原理），只有在小原子力學中，二者的差異才有重要效果與價值。在這裡我願意為了滿足諸位的好奇，簡單地解釋波爾理論觀點下的原子結構。這可以用波爾的原子量子軌道的圖解來得到一個概念。由圖中諸位可以看見放大的圓形的橢圓形軌道的系統，它代表在波爾的量子條件下，形成電子層的僅僅可以「允許」的運動方式。古典物理學家可以允許電子距離核子任何地方運動，而且對於它的軌道也沒有限制。而波爾的理論中的運動特性却受到嚴格限制。每個軌道邊的文字與數字表示一定軌道的分類名稱，諸位也可以看得出來，軌道直徑越大，其代表數字也越大。

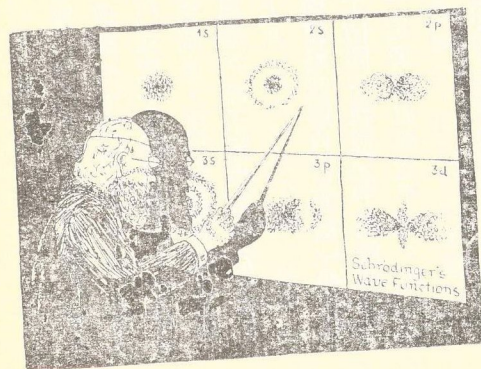


根據波爾—桑墨非理論推算到的氦原子一個電子的允許量子軌道。

雖然波爾的原子結構理論結果被證明很能解釋原子與分子的各種性質，不過基本的量子軌道理論卻並不很清楚，我們越是深一層去研究加諸古典力學的異常限制時，對全面情況便越趨模糊。

最後學者們才明瞭波爾理論的缺點在它沒有在基本上改變古典力學，而只是在古典物理結構上簡單地給它加上一些限制。十三年後才有了解決這問題的正確解答，那便是所謂的「波動力學」，它以新的量子理論修改了整個古典力學的基礎。第一眼看上去，這個理論比波爾的舊理論還要荒誕，新的微粒力學代表今日理論物理學最一貫最可接受的理論。關於新力學基本理論以及特別是「不定性」與「軌道的展開」的觀念，我已經在以前的演講中有所說明，我希望在這裡提醒諸位一下，所以我還是回到原子結構的問題上去。我現在指着第二張圖，諸位可以看見原子電子的運動可以用「軌道展開」的波動力學表示出來。這張圖片代表前圖中同樣的運動（由於技術的原因圖中畫出各別不同的運動型式），不過波爾的線式軌道已經易之以與「不定原理」一致的波型取代。不同運動狀況的觀念與前圖相同，但是二者比較起來，如果諸位多使用點幻想力，可以看出雲霧狀的形式與波爾的舊理論在一般上頗為吻合。

這些圖形明顯地向諸位表示出當量子論出場後，舊的古典力學軌道會有什麼樣的變化，雖然一些外行的人會認為它是夢幻的理論，不過研究原子力量的物理學家接受了這個理論卻沒有遭遇



到困難。

我們簡單地討論了原子電子層的運動可能狀況後，便遇到一個重要的問題。那就是在不同運動狀況下不同電子的公佈情形。這裡又有個新的原理，這個原理是古典理論中十分陌生的。這個理論是我的年輕朋友伍夫剛·包利（Wolfgang Pauli）所提出的，「一個已知原子的電子群中，兩個質點可能同時擁有同樣運動型狀。如果在古典物理學中，運動的情形有無限多，所以這個限制並無什麼大重要性。既然量子論限制了許多種可能的運動狀態，所以包利的理論在原子界中有非常重要的地位。它指出電子的分配相當平均，而阻止電子群擠在一個特定的點上。」

不過諸位由上面的理論中不可以認為在量子律下，我圖表中的每種運動狀態只可能被一個電子所「佔據」。事實上每個電子各沿着自己的軌道運行，也可能兩個電子佔同一軌道，不過旋轉方向却相反。對電子旋轉的研究表示它們運動的速度也相同，而它們的軸一定要垂直軌道平面。所以結果只有兩種不同旋轉的可能，即是「順時鐘方向」與「逆時鐘方向」。

所以包利的原理運用在一個原子的量子狀況中可以歸納成下列說法：每種運動的量子狀態只能由兩個以下的電子「佔有」，而這種情形下，兩個質點的運動一定是相反的方向。當我們研究到自然順序上電子數更多的原子時，我們發現不同的運動量子狀態漸漸地充滿電子，而原子直徑也穩定地增加。在這裡必須注意，雖然電子增加，而每一層（壳）的電子都有相同的約束力量。原子壳增加時，其電子性質也週期性的變化。這是著名的元素週期性，那是俄國化學家門德雷也夫（Dimitri Mendeleeff）所發現的。

第十二章 原子核内

下一次湯先生聽的演講是關於核子內部的情形，這乃是原子電子理論革命性的轉捩點。

女士先生們——教授說——

我們對物質構造的窺探已經越來越深。我們現在想記着月我們心算的日。這是個神秘的地帶，它的體積只有整個原子的萬億分之一。雖然它小得令人難以置信，可是我們發現它充滿了有趣的活動。事實上，原子核乃是原子的心臟，雖然它體積極小，但是它的重量佔全原子的百分之九九·九七。

由原子外層稀薄的電子圈進入核子區域後，我們會驚奇地發現其中自這件核子外圍運動時，其距離是本身直徑的幾百萬倍，而原子核內部的質點真是勾肩搭背，如果它們有肩背的話。由這個觀點言，原子核的內部情形與普通液體非常相似，除了我們熟悉的分子由一些更基本的質點如質子與中子等所代替。不過我們應當注意，雖然它們的名稱不一，不過質子與中子亦是同樣沉重的基本「核子」，不過帶有不同的電荷而已。質子是帶正電的核子，中子是在電荷上屬於中性的核子，當然其中也不乏有帶負電的核子，只是還沒有被發現而已。由它們的幾何尺寸而言，核子與電子並沒有什麼大的差異，它的直徑約為 0.0001 公分，一公分。不過核子比較重，一個質子與核子約等於一八四〇個電子。我曾經說過，形成原子核的質點非常擁擠，那是由於一種特別的核子親和力，它與液體中的分子作用相同。就像在液體中一樣，那些作用

力雖然阻止質點完全分離，然而並不阻止其間的相對位移。原子核中的物質有相當的流動性，而且不受外力的干擾，維持着圓球體的組織，就像普通的水滴一樣。下面我準備用圖畫來讓諸位看到由質子與中子構成的不同原子核。最簡單的是氫核，它只有一個質子構成，而最複雜的鈾核却有九十二質子和一百四十二個中子。當然，諸位千萬不可把這些圖形看成爲實際的情形，因爲由於基本量子論的不定原則，每個核子的位置實際上是「展開出去」在全原子核區域內的。

我方才指出，形成原子核的質點是由強烈的親和力所集結起來的，可是除了那種親和力之外，還有另一種在兩端互相作用的力。事實上，質子約佔原子核質粒中的一半，它帶有正電荷，由於庫倫靜電定律，它們是互相排斥的。對較輕的原子核言，電荷相當小，所以庫倫的排斥力並不重要。但是在較重電荷較多的原子核中，庫倫定律的力量便對親和力量有嚴重的競爭效應。在這種情形之下，原子核已不再穩定，容易排斥出一些它的組織份子。這便是週期表中後面一些所謂「放射性元素」所發生的現象。

由以上所述，諸位可以得到個結論；一些重元素的原子核不穩定會放釋出質子，因爲中子不帶電荷，而不受庫倫定律排斥力的影響。實驗告訴我們，實際上放出的粒子是所謂的阿法質點（氦核子）；亦即每個質點是由兩個質子與兩個中子構成的。這種阿法質點是特別穩定的，所以把整群物體扔出去比把它們分爲質子或中子容易很多。

諸位也許明白，放射衰退的現象，最早是由法國物理學家亨利·白克烈發現的，而著名的英國物理學家盧特福把它解釋爲原子核的斷續分解。這位盧特福爵士的名氣非常大，對原子核物理有極傑出的貢獻。

阿法衰退過程有種特別的特性，有時阿法粒子由核子放射出來需要非常長的時期。鈾與釷的時期以十億年計算；鐳則約十六世紀，也有些元素的衰退只在幾分之一秒間，它們的生命期與內部核子的運動比起來又算得相當長。

一個阿法粒子是什麼力量使得它停留在原子內達十億年之久？如果它停留得那麼久，又怎麼最後却射了出去？

要回答這個問題，我們必先知道一些關於親和力的相對強度問題，以及粒子在逸出原子核時的靜電力量。盧特福曾經對這些力量作過仔細的觀察，他使用的是「原子撞擊」方法。盧特福在他聞名的卡文迪許實驗室中，將一些放射體上放射出來的一束高速阿法束撞擊原子核而觀察它折射的現象。那些實驗證實：在離原子核遠距離時，放射體受到核電荷的強烈靜電排斥力，如果核子到了原子核區的外限時，排斥力便變成強烈吸引力。你們可以把原子核看作一個堡壘，周圍是高陡的牆壁，阻止核子任意進出。然而盧特福實驗中最令人注意的一項結果，是「阿法粒子由於放射性衰退過程而逸出原子核正如外界的微粒進入原子核一樣，其所具的能量比牆堡頂層——亦即『勢能障壁』所具有的爲少。」這件事實與古典力學的觀念完全相矛盾。誠然，如果你用力比球所需上坡的能量爲小而扔出去，怎麼能期望球滾上坡呢？古典物理學家會睜大眼睛，說盧特福的實驗一定是有了錯誤。

然而事實上並沒有錯誤，如果有人發生錯誤，那不是盧特福而是古典物理學家，這種情形同時由我的好朋友們，加謨博士，古納博士與康東博士們加以澄清，他們指出如果一個人用現代量子理論的眼光來看這些問題便不會有什麼困難了。我們知道今日的量子物理排斥了線形軌道與古典理論

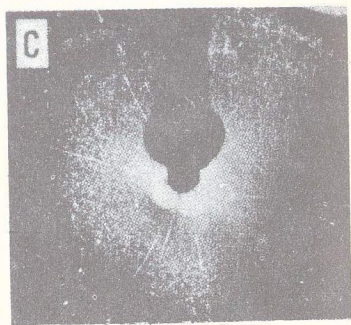
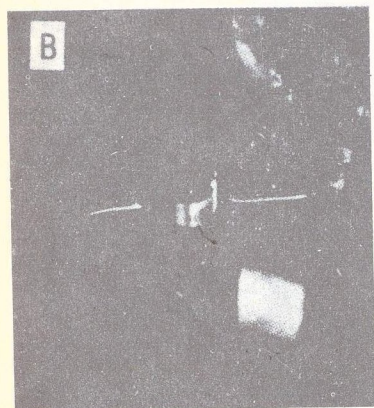
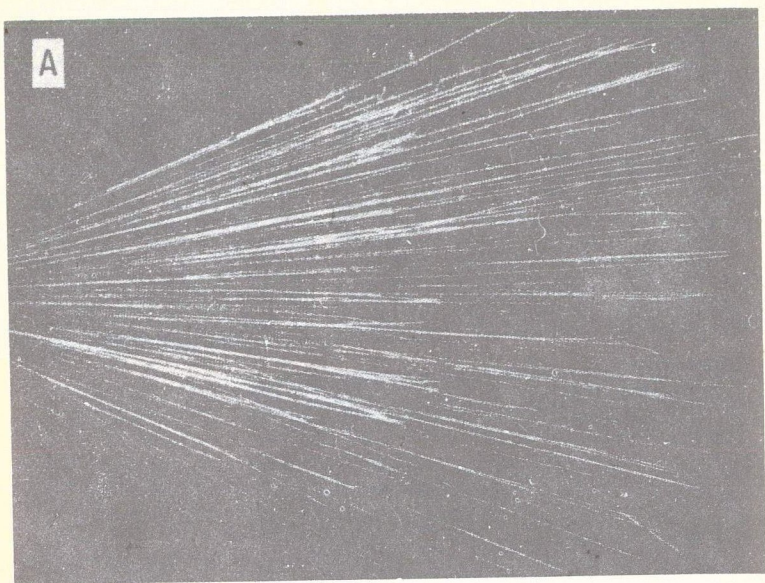
，而以擴散的幽靈式軌跡來取代它們。就像一個古代的鬼魂一樣，毫無困難地通過古堡的厚大理石牆，那些幽靈式的軌跡能夠穿過勢能障得是不是為奇，可是在古典學者看來則是不可思議的。

請不要以為我是在開玩笑：具不足能量的粒子的穿透能障，乃是新量子力學基本方程式的數學結果，代表了關於運動的新舊觀念的基本差異之一。雖然新力學允許這種奇異的效果存在，不過它也有強烈的限制：在大多數情形之下，穿過障得的機會非常之小，一個被囚的粒子在衝出去之前，要經過多得難以相信數次的碰壁。量子理論告訴我們準確計算逸出可能率的規則，它表示出亞法衰退期完全與理論相符合。而由外界射入原子核的軌道，在實驗上與理論上也非常接近。

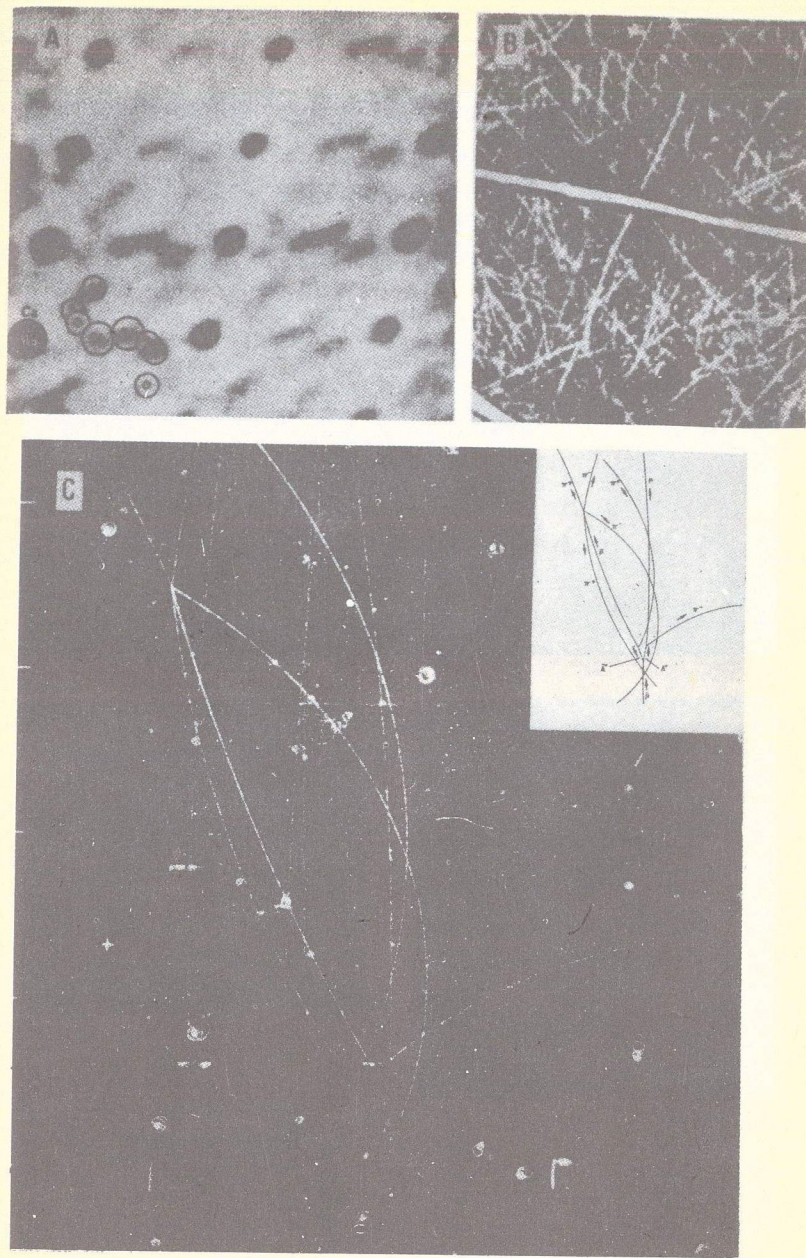
在我向下作進一步說明之前，我想拿幾張照片給諸位看，它們代表了不同原子核被高能原子射體打擊時的分解過程。

在下列三圖中（請看插頁），諸位可以看見霧室中拍攝下來的二種不同分解過程，圖（A）顯示出一個氮的原子核被高速亞法粒子所撞擊，這是元素的人為變化的第一張圖片。那是盧特福的學生帕屈克·布拉克特完成的。大家可以看見有許多亞法軌道由一個有力的亞法線源放射出來，大多數粒子在視界中逸過而沒有擊中，但是其中若有一個成功地擊中一個氮原子核。亞法粒子的軌跡便在那裡停止，而另外兩條軌跡由撞擊點發出去。長長的細跡代表一個質子被自氮原子核中踢出去，而短粗的那條代表原子核本身的反動。不過那已經不是氮原子了，因為它失去了一個質子而吸入亞法粒子，便變成了氧原子。因此我們得到了煉金術的目的，氮變成氧，它的副產品是氫。

第二圖（C）是表示人工加速質子的撞擊導致的原子核分解。一束快速的質子由特別高壓機器製造出來，那便是一般所謂的「原子撞擊器」，經過長管進入室內，一端可在圖中看到。它的目標



(A)氮被氮擊中變成重氧和氫
(B)鋰被氦原子擊中變成二個氦
(C)硼被氦擊中變成三個氦



說明見文內

是一片薄硼，它放在長管的下端，使撞擊後的原子核碎必須經過室內的空氣，產生雲霧狀的軌跡。諸位可以由圖中看出來，硼的原子核被質子打擊分成三部份，再經過計算電荷，我們可以得到一個結論，每個碎片都是亞法粒子，而即氮原子核。圖中的兩種變化代表今日實驗物理學中研究的幾百種核變化的兩種典型，這種變化被稱為「替換性核反應」，質點（質子，中子或亞法質點）穿刺入原子核，把別的質點踢出去，而本身留在裡面。我們看見了質子代替亞法粒子，和亞法粒子代替質子，中子代替質子等。在所謂這種變化中，反應得到的新元素代表撞擊元素是週期表中比較接近的。

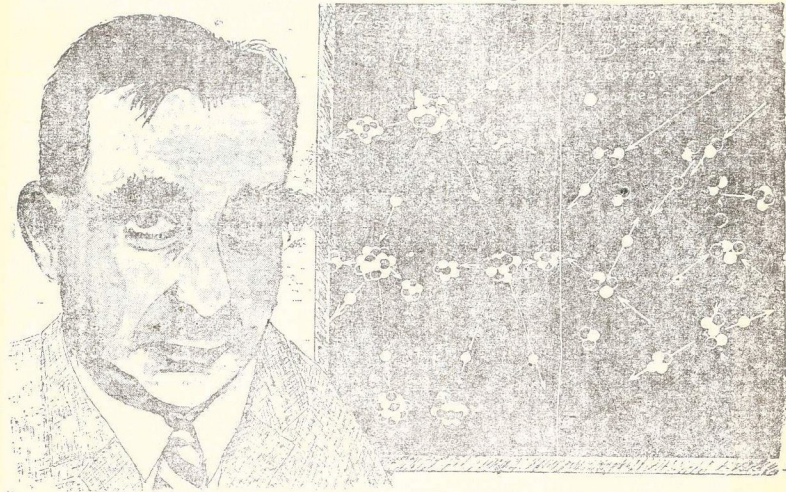
到了最近，也就是在二次大戰前夕，兩位德國化學家漢恩和史特拉斯曼發現了一種全新的核變化，「一個重元素核分為兩個相等部份，並且釋出巨量能量。」在我下一張影片中，諸位可以看見一張圖片中，兩個鈾碎片由鈾絲上向兩個相反方向飛去。這個現象稱之為「核分裂」，首次是由一束中子撞擊鈾發現的，但是以後發現週期表終端的一些其他元素也會有同樣變化。似乎這些重元素已經到了穩定狀態的極限，中子的撞擊很容易使它們一分為二，就像一粒過重的水銀一樣，這種重原子核的不穩定性使人猜測到何以自然界只有九十二種元素；實際上，任何比鈾元素中重的原子核不可能在任何時間內存在，因為它立刻會分裂成較小的部份。由實際觀點說：「核分裂」是非常有趣的，因為它開了利用原子核能的門戶。問題在於，重核分裂為二時，也發出一些中子，它可以使附近原子核發生分裂。這便可以引起一個爆炸反應，使所有核中的能量在幾分之一秒中釋出。如果諸位記得一磅鈾中的能量等於十噸煤的能量時，便可以了解設法釋出這種能量便在我們經濟上發生極大的變化。

可見當時雖然對質子核內部有了相當了解，但是只能得到小規模的核反應。至到相當最近，似

乎還不能釋出其巨量能量。到一九三九年德國化學家漢恩與史特拉斯曼發現了一種全新的核反應變化。一個鈾的重核子被一個中子所打擊，分成兩個相等的部份，放出巨量能和兩三個中子，它們又轉而擊中其他鈾核又將之一分為二，釋出大量能與更多中子。這種連環分裂過程可以引起大爆炸，如果能加以控制，那麼可以給人類不竭的能源。在這點我們頗為幸運，為原子能工作的「氫彈之父」賽樂金博士雖然十分繁忙，可是他同意來對諸位簡單地解釋核彈問題。他大概立刻就會到了。

教授剛說完，大門打開進來一位眼光熾熱有黑濃眉的人。他和教授握手後，便轉向觀眾。

「女士先生們！我們開始吧，不過我只能簡單地談談，因為我太忙了。早上我在五角大廈和白宮參加了幾次會議，下午我還要參加加尼韋達州的地下試爆，晚上我要在加州范登堡空軍基本



雖然分裂 (fission) 和融合 (fusion) 兩個名字聽起來很像，其實完全不同的反應。

演講」。

「原子核的主要論點，是它由兩種力量所平衡。把原子核結而為一的核親和力；另一種是質子之間的電排斥力。在鈾或鈾那些重核中，排斥力比較佔優勢所以隨時準備分裂，一有刺激便成了兩個部份，這刺激可以由中子擊核而導致。」

他轉向黑板後，又說：「這裡諸位可以看見一個可以分裂的核，以及一個中子正在撞擊它。兩個分裂部份飛開去，每個帶着一百萬電子伏特的能量，與幾個新生中子——如果是較輕的鈾同位素則有兩個，鈾則有三個。然後，咻！咻！發生了我在黑板上所畫的連續反應。如果分裂物質的體積很小，大多數中子由表面上掠過而沒機會擊中另一個可分裂核，於是便不能發生連鎖反應。當它的體積比我們所謂臨界物質的直徑大上三四吋時，大多數中子便被捕獲而引起全部的爆炸。那就是我們所謂的分裂彈，也常常被人不正確地稱為原子彈。」

「可是如果研究週期表另一端的元素，可以得到更佳的结果，這種元素中核吸引力比電排斥力為強。當兩個輕核接觸時，它們熔合在一起，像盤子中的兩滴水銀一樣。這種過程只能在極高溫度中發生，因為輕核互相接近時會被電子排斥力阻止它們的接合。可是當溫度達一千萬度時，電子排斥力便無能阻止它們的結合，於是熔合過程開始了，最適宜於熔合過程的原子核是重氫的原子核。圖左便表示重氫熱核子反應的簡單過程。當我們最初想到氫彈時，我們認為它可能對世界乃是一種福祉，因為它不會產生放射性分裂而傳播在大氣層中。然而我們無法製造這種「純」氫彈，因為重氫雖然是可以用海水製出的最佳燃料，仍然它不能自己燃燒。所以我們必須用鈾壳來裹住重氫核心。外壳會生出許多分裂碎片，所以被人稱為「髒」氫彈。在設計控制熱核重氫反應時也會遇到同樣

困難，雖然我們盡了一切努力，還是沒能解決這個難題。不過我相信總有解決困難的一天。」

「博士，」一位聽衆問，「既然分裂變化會產生對全球人類有傷害的變化，這應當怎麼辦？」

「並不是所有變化都有害的，」賽樂金博士答，「有些會有助於遺傳生育。如果有機體不會變化，那麼我們今日還是阿米巴。你不知道嗎，生命的進化乃是由於自然變化與適者生存的吗？」

「你的意思可是說，」一位女聽衆神經質地喊，「我們大家都要生上一打孩子，然後挑幾個好的，把別的消滅？」

「哦，女士——」博士正要開口時，門打開一個穿駕駛衣的人走了進來。

「快，先生，」他說：「你的直昇機就停在門口，如果你不立刻動身，就趕不上噴射機了。」

「對不起，」博士對大家說：「我非走不可了。再見。」於是兩個人匆匆衝出門去。

第十三章 老木刻師

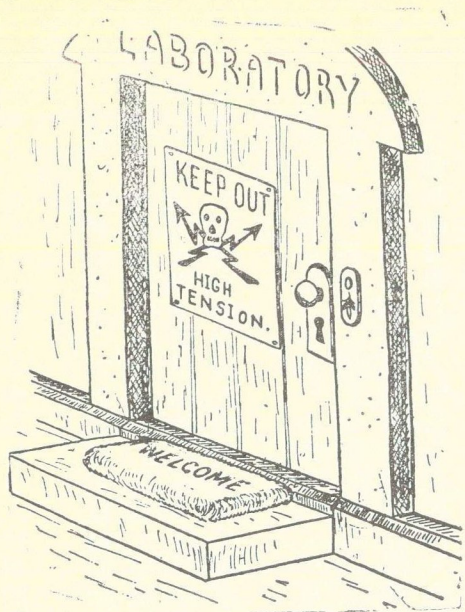
那是一座巨大而沉厚的門，上面有驚心觸目的告示：「注意——高壓電」，它正貼在門中央。不過這個不友好的印象却被門墊上寫的「歡迎」大字給沖淡了，湯先生心中猶疑了一會，終於伸手按下電鈴。一個年青的助手引導他走到一間極大的房間去，房裡提着一架既複雜又奇形怪狀的機器。

「這是我們的『加速器』，報紙上也管它叫做『原子撞擊器』，」助手說，一面用手喜愛地撫摸着。一個大電磁圈，它代表這具現代物理界驚人工具的主要部份。

「它可以製造出能量高達一千萬電子伏特的質點，」他又驕傲地說：「沒有幾種原子核能抵禦得了以這麼可怕能量運動射擊粒的撞擊！」

「哦！」湯先生說：「這些原子核一定非常堅固！想想看，爲了要打破一個小原子的核，居然要用這麼個碩大的機器。這機器是怎麼運用的？」

「你去看過馬戲嗎？」他的岳父由大加速器後面轉了出來。



「呃！……當然，」湯先生對這個出人意料的問題頗感尷尬，「你可是希望我今天晚上陪你看馬戲？」

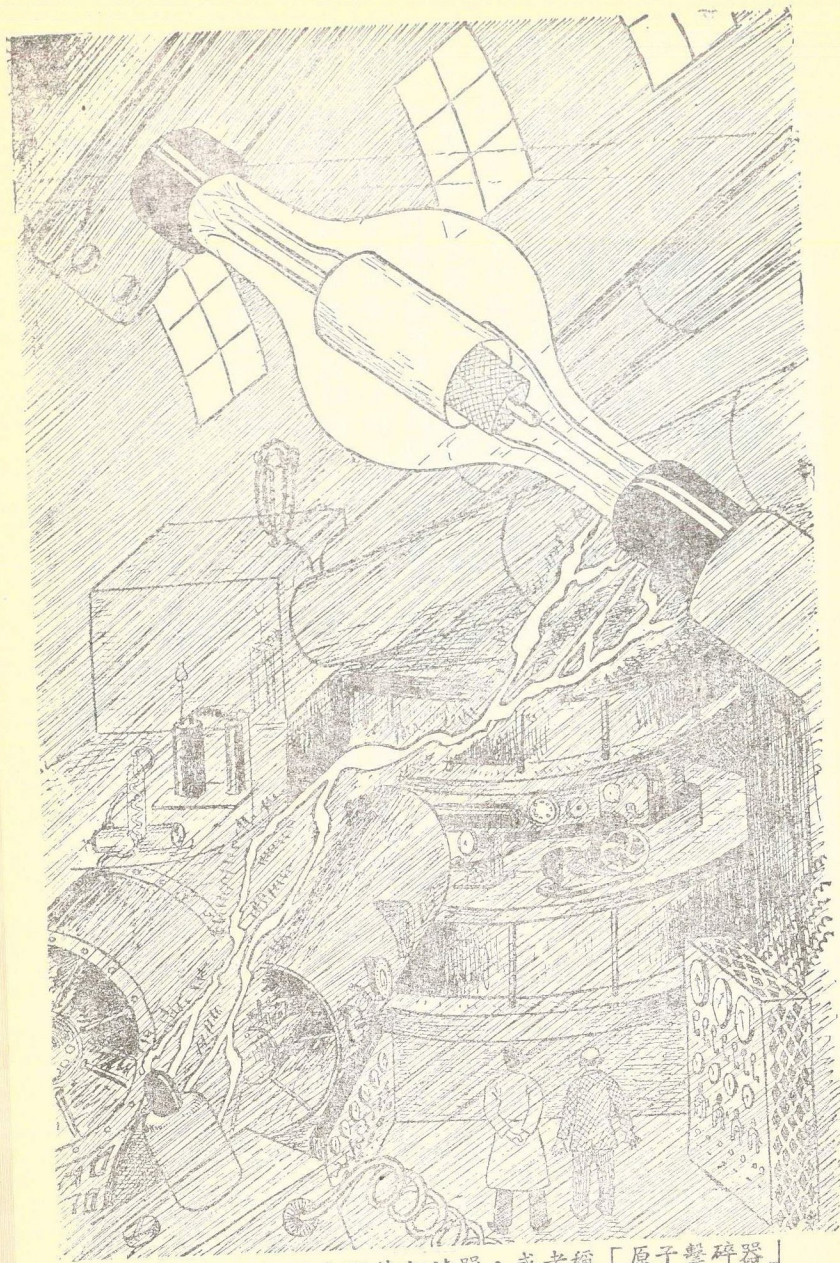
「不然，」教授說：「不過馬戲可以幫助你了解一架加速器的原理。如果你由這個大磁鐵的柱子間看過去，你會看見一個大圓形的銅盒，它就像是個馬戲團的圓形舞台一樣，許多用來作爲撞擊原子核的不同電荷質點，在這裡被加速。盒子中央是產生帶電粒子，或離子，的源泉。當它們出來時，速度很小，而強力的磁場把它們的軌道約束在中央的小圈子上，然後我們開始鞭策它們，使它們的速度越來越高。」

「我知道怎麼鞭策馬匹，」湯先生說：「可是如何鞭策那些小粒子，我實在弄不清楚。」

「不然，實在很簡單。如果粒子在一個圓上運動，每當它經過軌道上一定點時，便加給它一連串電震，就像一個馴馬師站在圓形舞台邊一定地方，每當馬跑過來時便給它一鞭。」

「可是馴馬師看得見馬，」湯先生反駁。「你怎麼能看見一個小質點在圓盒中運動，每次回來時準確地給它踢上一腳？」

「我當然看不見，」教授同意地說：「但是我不需要看見它。這個加速器的把戲很簡單，雖然加速質點越來越快，不過它走一圈的時間却是相等的。就是說質點加速時，直徑加大，圓周也加長，所以它走的軌道也隨而增長。因此它運動的軌道便像個圓形的螺旋，在一定時間後，它的位置永遠在圓環的某一側。我們只要在每隔一定時間給它加以電震刺激，而電流系統是用震盪方法，就像任何廣播電台一樣。這裡面每一次電震並不很強，可是它們累積的效果使質點得到非常高的速度。這便是機器的特別優點；它可以產生與數百萬伏特的相似效果，雖然系統中並沒有實際呈現的高壓。」



這就是我們的大迴旋加速器，或者稱「原子擊碎器」

「非常傑出，」湯先生想了想說：「什麼人發明的？」

「那是故恩斯特·奧蘭多·勞倫斯幾年前在加州大學第一個建立起來的，」教授答。「加速器一天天在改進，而且幾乎每個物理實驗室都需要。它比舊的那些和用靜電原理的機器或變壓器等要方便得多了。」

「如果沒有這種複雜的機器，人就不能打破核子嗎？」湯先生問，他一向相信簡單而不相信複雜的機器。

「當然可以。事實上盧特福作人工元素變化的著名實驗時，便只是利用普通天然放射體中發射的亞法質點。不過那是二十年前的的事了，諸位知道，近來撞擊原子核的技術已經有了長足進步。」

「你能不能讓我看看原子真的被破壞嗎？」湯先生問，他是百聞不如一見的信徒。

「好，」教授說：「我們正要開始實驗。我們現在要作的是進一步研究硼在高速質子衝擊下的分解。一個硼原子核被質子重擊時，便能進入核的能障到核內，硼核成了三部份向不同方向飛去。我們由所謂『霧室』的方法看見撞擊後三個質點的軌跡。這種室，中央放一片硼，放在加速室開口

的地方，當我們開動加速器時，你便可以親眼看見核的分裂了。」

「請你把開關關上，」他轉向他的助手，「我來調整磁場。」

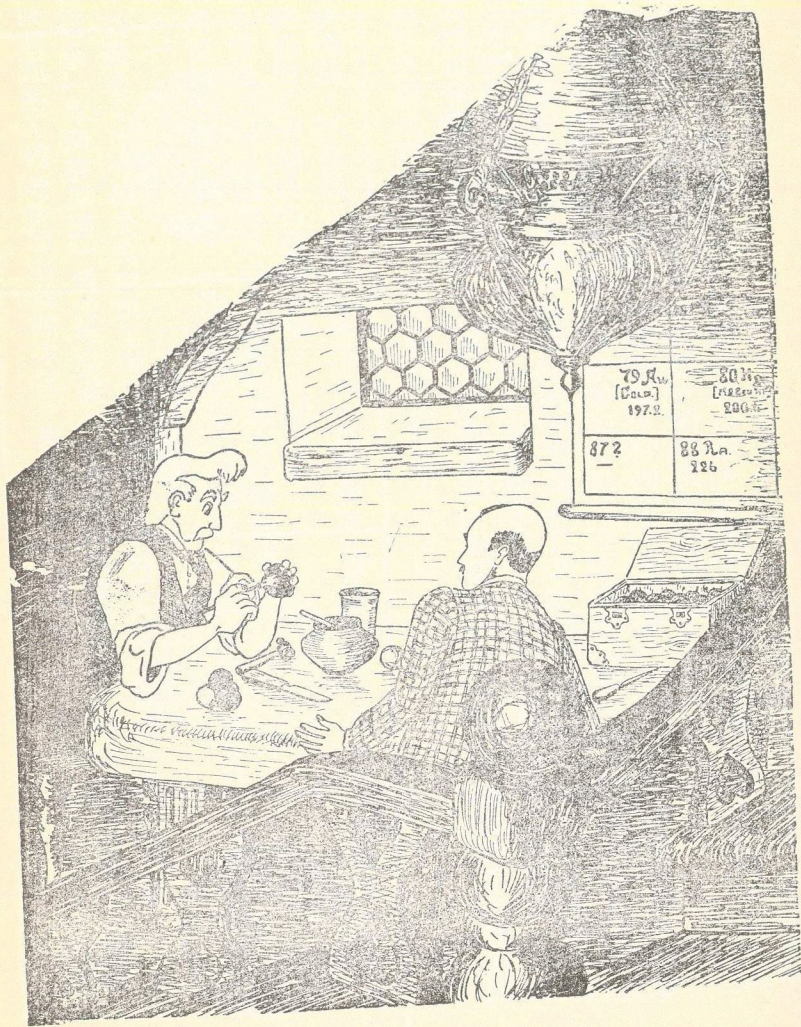
要費些時間，他才能把加速器開動起來，湯先生一個人無聊地在實驗室裡閒盪。他又注意到一個複雜的系統，那是些發出淡藍光的大放大管。他不知道加速器裡使用的電壓雖然不能破裂一個原子核，可是可以輕易地劈開一頭牛。他仔細地向前觀察它。

忽然一聲聲響，就像馴獅師的鞭子一樣，湯先生覺得一股可怕的震顫傳過全身。然後天昏地黑

，他失去了知覺。

他睜開眼

睛時，發現自己正躺臥在電流擊到他的地板上。房間裡周圍如舊，只是東西有相當改變。方才的大加速器閃着銅光，到處是些電器玩意，現在那裡是一張大木頭桌子，上面擺着許多木匠的用具。牆上的舊式



檯架上，他注意到裡面擺了許多奇形怪狀的木刻。桌邊坐着一位年老而友善的人在工作，再仔細看去，簡直像華德迪斯奈「木偶奇遇記」裡的老爸爸。這位教授的實驗室牆上懸着故盧特福爵士的像。「對不起，打擾你了，」湯先生由地上爬了起來說：「我方才是在參觀一個核實驗室，可是發生了件奇怪的事。」

「哦，原來你對原子核有興趣，」老人放下手上的雕刻說：「那麼你到這裡來，算是找對地方了。我這裡製造各種原子核，讓我為你介紹我這個小小實驗室。」

「你說是你製造的？」湯先生傻傻地說。

「當然，一點不錯，不過這工作是需要技術，特別是那些放射性核，你還沒時間畫好，它們就分開了。」

「要畫？」

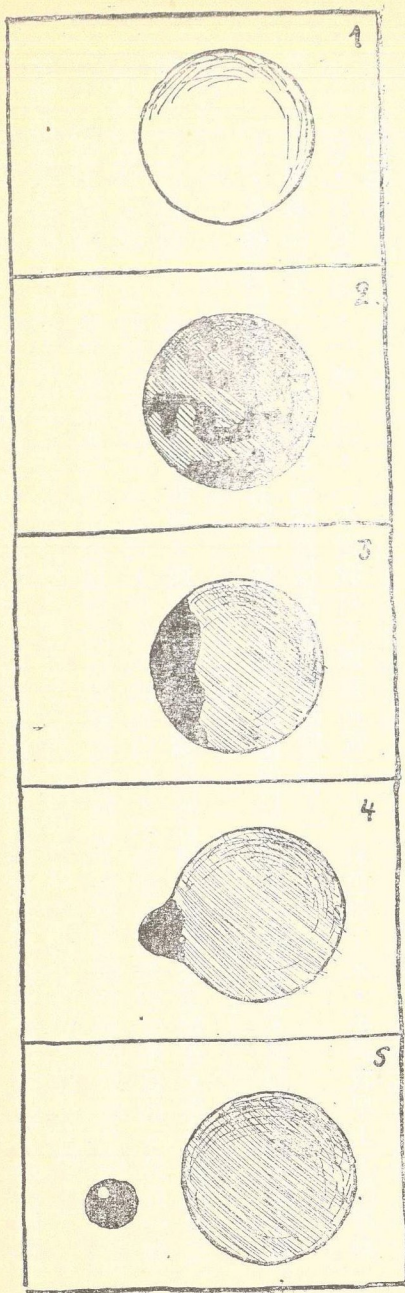
「是的，我常把正電質粒塗成紅的，把負的塗成綠的。這樣一說，也許你就會明白為什麼紅綠兩色被人稱為『補色』了，如果兩種顏色混在一起便互相消滅了。（註：諸位讀者必須記住，顏色的混合不是指的塗塗畫畫而是指的光線。如果紅綠兩種顏料混在一起便變成了土色。反之，如果我們一個陀螺頂上一半漆綠一半漆紅，急轉起來便成了白色，）這是表示正電與負電的相消。如果原子核是用同量正電與負電組成，急速地來回運動，它便成了中性電，而你看起來便是白的。如果正電多或是負電多，那麼全系統便成了紅或綠色。你說簡不簡單？」

「現在來，」老人把桌邊兩個大木箱取給湯先生看。「這裡存着的是我製造原子核的材料。第一箱的紅球是質子。它們很安定而且永不變色，除非你用刀子把它的顏色削掉。但是第二箱裡的中

子便老是給我帶來麻煩了。在正常情形下它是白的，也就是帶中性電，然而它有變成質子的強烈傾向。當箱子蓋蓋得很緊時，一切平安無事，可是你拿出一個來，便發生變化了。」

老木刻家打開一個盒子，拿出一個白球放在桌面上。一時之中似乎沒有一點動靜，可是當湯先生快要不耐煩的時候，球忽淡了起來。表面上出現了不規則的紅色和綠色條紋，再過一會，它就像孩子們玩的玻璃彈珠。接着綠色集中向一邊，終於完全脫離了球體，形成一個明亮的小綠滴落在地上。剩下的球完全是紅色的，和第一箱中的紅色質子毫無兩樣。

「你看清楚了吧，」他說了，拾起了小綠色漆粒，它現在變得又圓又硬。「中子的白色分成了紅綠兩色，這個東西也變成兩種東西，質子和帶負電的電子。」



「是，」他看了湯先生驚訝之色又說下去，「這個綠色的東西只是普通的電子而已，和任何原子裡的電子一樣。」

「哦！」湯先生叫了起來。「這比我見過的任何魔術都精彩。你能把顏色變回來嗎？」

「可以，我可以把綠色塗回紅球表面，使它又成爲白色，不過那是需要相當能量的。另外一個辦法是把紅色刮掉，那也同樣需要能量。球面的紅色也能形成紅滴，那就是正電子，你也許聽過這個名詞。」

「是，當我自己是電子的時候……」湯先生說了連忙改口過來。「我是說，我聽說過正電子與負電子一相遇便消失了，」他說：「你可以爲我玩個把戲嗎？」

「哦，那很簡單，」老人說：「不過我可不願意把質子上的紅色刮下來，不過我早上工作還剩了有幾個正子。」

他打開一個抽屜，取出一個鮮紅小球，緊緊地用姆指和食指夾住，把它放在綠球的旁邊。忽然一聲響，就像爆竹一樣，兩個球隨聲而滅。

「看見沒有？」木刻家說了，吹吹有點燒燙的手指。「所以我沒有辦法用電子來建築原子核。我試過一次，不過立刻就放棄了。現在我只用質子和中子。」

「但是中子也不穩定，對不對？」湯先生記起方才的試驗又問。

「它們單獨存在時，是的。可是它們緊緊地擠在核中時被別的質粒所包圍住便相當穩定了。不過相對地說，如果中子過多或質子過多，它們便會變化，多下的顏色便由核中以正負電子的形式發射出去。這種調整，我們稱之爲貝達變化。」

「你作這些核是不是用膠？」湯先生有興趣地問。

「不需要，」老人回答。「你看，這些粒子只要碰在一起便粘得很緊。你有興趣也可以試一試。」

湯先生聽了他的話便每手拿了個質子和一個中子，小心地慢慢接近。他立刻覺到一股拉力，並且注意到一項極其奇怪的現象。粒子在變化顏色，互相紅白相間。好像紅色由右手球上跳向左手，而又跳了回來。顏色跳得很快，好像這兩個球一條來往震動的粉紅帶子連結起來。

「我那些談理論的朋友把它稱爲互換現象，」老人說，一面爲湯先生的驚訝而莞爾。「兩個球都變成紅色，也就是獲得電荷，因爲它們不能同時獲得，所以只能來回地拉扯。兩個球誰都不願放棄，所以兩個牢固地連結起來，直到你用力把它們分開。現在我可以告訴你，要製造核是可以隨心所欲的。」

「黃金？」湯先生記起了古代煉金術士的野心，問。

「黃金？讓我們看看，」老人喃喃地說，望向牆上掛的一張大表，「金原子核重一百九十七單位，帶有七十九個正電荷。那表示我要用七十九個質子加上一百一十八個中子來決定。」

「他數了數粒子數目，又把它們放在一個高高的圓筒中，並且用原重木塞蓋起來。然後他用力把塞子壓下去。」

「我非這樣做不行，」他對湯先生解釋。「因爲帶正電的質子有強烈的電排斥力。這排斥力由木塞壓力克服後，質子和中子便可以因爲互交換力量固結在一起，而形成所要的原子核。」

他又重重地壓木塞，再把它拿出來，把木筒裡的東西倒出來。一些粉紅球滾在桌子上，湯先生

仔細地看，粉紅顏色乃是因爲紅白光藍在粒子中迅速運動的關係。

「美極了！」他說：「這就是黃金原子！」

「不是原子，只是原子核，」老木刻師糾正他。「要完成這個原子，還需要加上適量的電子以中和核中的正電荷，製造出習慣上所有的電子層。」

「奇怪，」湯先生說：「我岳父從來沒告訴我，製造黃金居然那麼簡單！」

「哦，你岳父和那些所謂的核物理學家們！」老人口吻中頗有不耐的神色。「他們很會表現，可是實際上做得很少。他們說他們無法把各別質子壓成複雜的原子核，因爲他們沒有辦法得到這種工作需要的特大壓力。有一個人甚至於說把質子壓在一起需要像月亮樣的全部重量。不知道他們的困難是不是他們拿不到月亮？」

「可是他們也完成了些核變化，」湯先生不好意思地說。

「是，不過費盡九牛二虎之力而且結果十分有限。新元素的量小得他們自己都看不見。我來告訴你，他們是怎麼做的。」他又取出一個質子，用頗大的力量向桌上的黃金原子核扔過去。在核外邊，左近質子慢了下，猶豫了一下，才穿了進去。核吞沒質子後，它發了發抖好像患了熱病，然後「咯」地一聲，有一小部份脫開母體。

「你看，」他拿起碎片說：「這就是他們所說的亞法粒子，如果你再仔細看看，便知道它包含兩個質子和兩個中子。這種粒子普通是由所謂放射性元素的重原子核中發射出來的，不過我們也可以用大力量把它由普通穩定元素裡打出來。不過我要請你注意一件事實，桌上留着較大的碎塊已經不是黃金原子核了：它失去了個正電荷而成了鎔的原子核，在週期表中它正在鈾的前面。不過也有

時候質子進入核後並不會使它一分爲二，結果你得到的是週期表中黃金後面的元素；那就是汞，利用這種同樣的過程，你就可以得到任何元素。」

「哦，我現在才明白他們在加速器中製造高速的質子束所爲何來了，」湯先生似乎想通了。「你爲什麼說這個辦法不好？」

「因爲它的效率太低了。第一他們不能像我那樣瞄準目標，只能幾千發才射到一次。第二，即使直接命中，子彈也可能由核上反彈起來而射不進內部。也許你方才注意到，我把質子扔進金核時，它在進去之前遲疑了一下，當時我還以爲它要掉頭回來了。」

「什麼力量使質子進不去？」湯先生至感興趣地說。

「你可以自己猜看看，」老人說：「假如你還記得，核子與打擊的質子都是帶的正電，二者之間的排斥力構成了難以通過的阻礙。如果打擊的質子設法刺穿了核堡壘，那只是因爲質子使用了木馬屠城計的故技；它們不是以物質而是以波形進去的。」

「哦，你又把我悶住了，」湯先生悲哀地說：「我實在不懂你的話。」

「可能你不會懂的，」木刻師笑了笑說：「老實對你說，我自己不過是個工人。我用手工作，對那些理論的玩意兒實在也不太明白。主要的是核物質是用量子物質做成的，它可以通過或漏過一般以爲無法穿過的物質。」

「哦，我這下懂了！」湯先生喊了起來。「我記起來有一次在我剛認識毛娣不久，我到過一個奇怪的地方，那裡的彈子就和你所說的一樣。」

「彈子？你說真的象牙彈子？」老木刻家緊張地說。

「是，我知道它們是用量子象的象牙做的，」湯先生答。

「哦，這就是人生，」老人悲哀地說：「他們用這麼昂貴的東西來作遊戲，而我必須用量子橡皮刻出宇宙最基本的物質，質子和中子！」

「不過」他又掩蓋了他的失意說下去，「我的可憐木頭玩意兒和他們昂貴的象牙玩具一樣好，我來告訴你它們是怎麼乾淨俐落地穿過任何障礙。」他爬在凳子上由架頂拿下一個非常奇怪的木刻，它的外表正像個火山模型。

「你看見沒有，」他輕輕地把上面的灰彈掉，「它就是包圍在任何原子核外面排斥力的障礙模型。外面的坡度代表電荷之間的電排斥力，而上面的陷口代表使核物質固結的親和力。如果我把一個球向坡上扔去，而用的力量不夠使它爬到山頂，你一定說它滾了一半就滾下來了。你現在看它實際情形如何……」於是它輕輕把球向前推了一下。

「我倒看不出這有什麼奇怪，」湯先生看見球爬了一半又滾下來後。

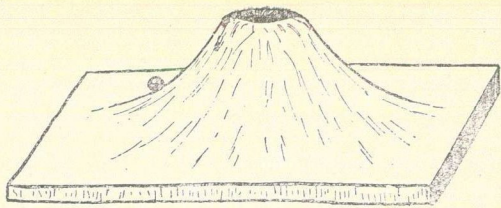
「等等，」老木刻師安詳地說：「你總不能希望第一次試驗便會成功。」

「於是他又把球扔上坡去。這次它又失敗了，但是第三次的時候，球到了山坡中央時，忽然不見了。」

「你說那個球那裡去了？」老人像個魔術師一樣得意地說。

「你說它到山洞裡去了？」湯先生說。

「對，一點不錯，」老人說完，用手指把球由山腹中取出來。



「現在我們倒過來看，」他建議道：「看看球能不能由山腹裡不經過山頂跑出來，」他把球扔回洞中去。

一時，裡面毫無動靜，湯先生只聽得見球在山腹中來往不停地滾動着。然後，像奇蹟一樣，球在山坡半腰上出現了，又慢慢滾下坡回到桌子上。

「你所看的正是放射性亞法變化，變化的最好例證，」老木刻師說了又把模型放回去。「只不過這裡是普通的量子橡木障礙，而實際上是電荷排斥力。不過在原理上並沒有兩樣。有時那些電障是『透明』的，質點可以在幾分之一秒中逸出去；有時又『不透明』得需要數十億年，鈾原子核便是如此。」

「為什麼原子核不都是放射性元素？」湯先生問。

「因為在大多數原子核中，山洞頂在外面水平之下，只有比較重的原子核的洞口比較高，而使質點有逸出的可能。」

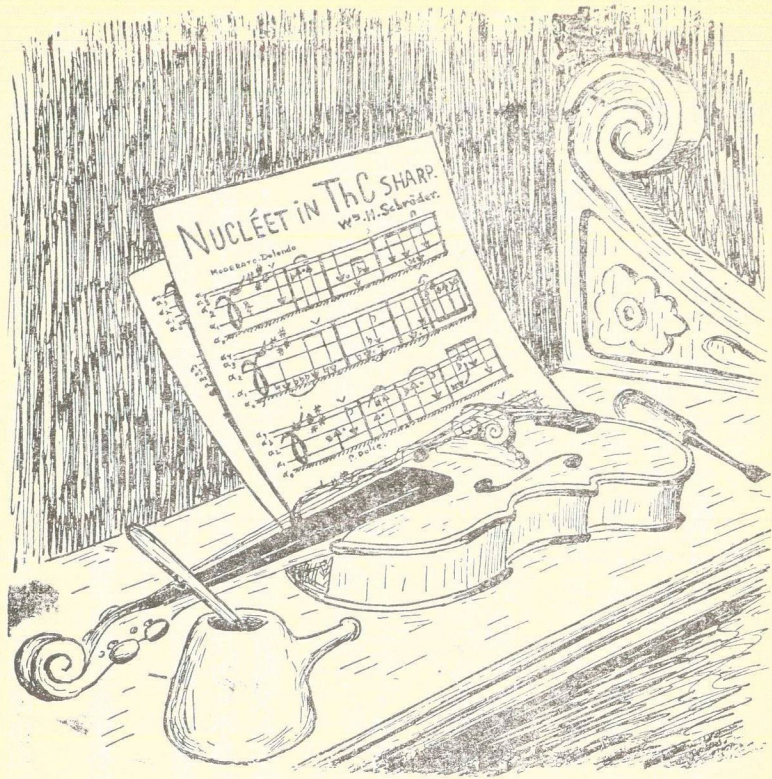
湯先生和這位和氣的老木刻師在房中一起盤桓了多久時間，已經弄不清楚了。木刻師簡直巴不得把他所知道的全告訴他的客人。湯先生看了許多不凡的東西，最特別的是一個密鎖的幾乎是空的盒子。上面標「微中子。小心不可倒出。」

「裡面有什麼東西？」湯先生把盒子放在耳邊搖了搖說。

「我不知道，」木刻師說：「有人說有，也有人說沒有。不過你什麼都看不見。這個奇怪的盒子是一位理論朋友給我的，我也不知道該把它怎麼辦好。最好目前不去管它。」

湯先生又看了一會，發現了一具老舊的小提琴，它舊得像是由史脫拉第瓦利的祖父製造的。

「你會奏小提琴嗎？」他轉向老人。



「只會伽馬線調，」老人答。『那是具量子小提琴，它已經奏不出別的調了。以前我有具量子大提琴，它能奏光學調，後來什麼人借去就一去不返了。』

「好，那麼奏一曲伽馬調來聽聽吧，」湯先生要求，「我以前還沒有聽過。」

「我替你奏一曲『昇C調核子曲』，」老木刻師說了，把提琴舉在肩上，「不過你可能準備一下，這個曲很悲哀。」

音樂實在十分奇怪，湯先生以前從來沒有聽過這麼奇怪的音樂。裡面不斷有海浪沖擊沙灘的聲音，中間間插有尖嘯聲音，像是流彈劃過。湯先生對音樂一向是外行，可是這個曲子對他有種奇怪而強力的效果。他坐在一張安樂椅上，舒服地伸開四肢躺著……

第十四章 無中之洞

女士先生們：

今天晚上我要求諸位特別注意，因為我要討論的問題是既有趣味而且又十分困難的。我想講一些新的重點，所謂「正子」(Positron)，它具有特別的性質。有一點非常值得我們注意，這個質點的存在起初完全是純理論上的假設，它的時間是在真正被測出來的前幾年。而它的發現正是借助於理論上對它們性質的預測。

這種預測的光榮必須歸於一位英國物理學家，保羅·狄拉克(Paul Dirac)，就是這位先生由理論上得到這種質點存在的結論，而在當時很久一段時間內大家都不相信他的說法。狄拉克的基本理論可以用下面一句話來說明：「在空虛的空間中應當有洞存在。」諸位聽了一定會大感奇怪，是的，當初我們物理學家剛剛聽到時也一樣困惑。在一無所有的空間中怎麼會有洞呢？這句話有意義嗎？有的，假如有人暗示說，所謂空虛的空間實在並不是我們所相信的空無一物。而且事實上，狄拉克最主要的論點中有一個假設：「所謂空虛的空間或真空中，實際上密密地佈滿了無限多的普通負電子，它們的分佈十分均勻而普通。」我們不用特別指明，這個舊的假設在狄拉克心中並不等閒視之，而且反而嚴肅地考慮起一些有關一般負電子理論的問題。而這個理論也導致出一個必然的結論，除了原子的運動量子狀態之外，一個純真空中也有無限多的特別的「負量子狀態」，而且除非有什麼力量阻止電子進入那些「更舒適」的運動狀態，它們將遺棄它們的原子，而可以說是溶入空虛的空間中去。進一步說，唯一使電子不會亂跑的方法，是使那個地方被一些其他電子所「佔據」，

那麼真空中的所有量子狀態必須完全充滿無限多的電子，而且它均勻地分配在全空間裡。

我怕我所說的話簡直像是科學話，諸位怕會丈八金剛摸不到頭腦。這個題目實在十分困難，我只希望諸位捺下心聽下去，也許終會對狄拉克的理論了解一個大概。

好，不管怎麼樣，狄拉克得到了個結論，說空虛的空間中充滿了平均分佈而且無限高密度的電子。而為什麼我們會一無所知，而且把真空視為絕對空虛的空間呢？

如果諸位把自己假設作一條懸浮在海洋深水處的魚，也許便能了解我的答案了。不管這條魚是多麼聰明，牠能不能體認到牠周圍是充滿了水呢？

這幾句話把湯先生自睏盹欲眠的疲態中拉了回來。他是個釣翁，頓然感到有海上清風徐來海波不興的意境。雖然他是個游泳能手，他也無法浮在海面上，而向海底慢慢地沉將下去。奇怪得很，他一點都不感到缺少氧氣而且非常自在。他想，也許這是特別退化的一種效應。

根據人類學家的理論，生命起源於海洋，而魚類中第一個向陸地上進軍的是所謂的肺魚，牠爬到海灘上，用鰭走路。根據生物學家說，這種第一條肺魚，在澳洲人稱之為 *Necarotodus*，非洲人稱之為 *Dicodactylus*，南美人稱之為 *Leiodontion*，慢慢演化成爲陸居動物，就像老鼠、貓和人類一樣。不過也有一些，像鯨魚和海豚，牠們在陸地上嘗了點苦頭後，便知難而退回到海洋去。可是回海洋後，牠們仍然保持着陸地上獲得的一些特性，仍舊屬於哺乳類，母性把胎兒留在腹內而不像別的魚一樣把魚子生下去，過後讓雌性來使它們受精。不是有位匈牙利科學家名叫李奧·史濟拉特的說，海豚比人類的智慧還要高嗎？

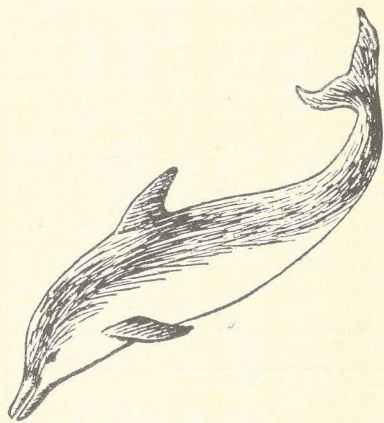
他想到這裡，忽然聽見對話的聲音由海底深水處傳來

。那是一個人和海豚，湯先生立刻認出那個人是他以前在相片上看見過的物理學家劍橋大學教授保羅·阿得里安·

毛利斯·狄拉克 (Paul Adrien Maurice Dirac)。

「你看，保羅，」海豚正在說，「你認為我們不是在真空之中，而是在個由負質量形成的物質介質之中。在我說來，水和那種空虛真空並沒有什麼兩樣；它完全均勻的，我可以在裡面向任何方向自由來往。我聽見過一個傳說，說陸地上完全不同。上面有山有谷，不能隨心所欲。在水裡就不然了，我高興去那裡便可以去那裡。」

「說起在海洋的水中，你的話對，我的朋友，」狄拉克答。「水給你身體表面帶來摩擦力，如果你不擺動尾巴和鰭，就不能動了。而且因為水的壓力隨深度而改變，你一定要擴張或壓縮你的身體才能夠上下浮沉。如果水裡沒有摩擦力與壓力傾度，你就會像個沒有火箭燃料的太空人一樣毫無辦法，我的海洋是由電子與負物質構成的，它完全沒有摩擦力所以也無法觀察到。只有少了一個電子，才可以被物理儀器測出來，因為少了個負電荷，便等於多出



狄拉克與海豚對話

一個正電荷，這點連庫倫也注意到過。

「如果把我的電子海洋和普通海洋來作個比較的話，我們必須作個重要的例外，以免被這個比較帶領得過份遠去。問題在於因為我海洋中的形成電子服從鮑利原理，當所有可能的量子層次都佔滿之後，海洋裡便不能多加一個電子。這種多加的電子一定停留在我海洋的表面，實驗家們可以輕易地測探出來。第一個發現這種電子的是湯姆生爵士，電子繞着原子核運行，而且有些通過真空管，那些便是過多的電子。在我一九三〇年出版第一篇論文之先，空間的其他部份都被認為是空虛無有，而且一般人相信物理實體只屬於零能表面上昇起來的偶然激濺的水珠而已。」

「可是，」海豚說，「如果你的海洋是因為它的連續性與無摩擦力所以不能觀測，那麼談論它有什麼意義？」

「嗯，」狄拉克說，「假設有什麼外在的力量，由海洋深處把有負質量的電子提到表面。在這種情形下，可觀測的電子便多出一個來，而這被認為是違背了能量不減定律。那麼現在就可以觀察得到海洋中由於電子移去後所生的空洞，因為一個均勻分佈體中失去的負電荷便等於增加了同量的正電荷。這個正電荷的質點也有正質量，而且順着重力方向移動。」

「你說它會浮而不會沉？」海豚驚訝地說。

「當然。我相信你見過許多物體沉到海底，那是因為重力的關係，船上扔下來的物體或者是船本身。但是你看這裡！」狄拉克打斷自己的話。「看見那昇上表面銀色小物體嗎？它們的運動是由於重力，可是向相反方向而去。」

「那些只是泡泡，」海豚反駁他的話。「那是海底什麼東西碰到岩石，而使它含有的空氣逸出

來。」

「你說得對，可是你看不見真空裡的泡泡上昇吧。所以我的海洋並不是一無所有的。」

「非常聰明的理論，」海豚說，「可是，是真的嗎？」

「當我在一九三〇年提出這個理論的時候，」狄拉克說，「沒有一個人相信。不過那大部份是我自己的錯，因為我先以為那些正電粒子只不過是質子而已，質子是實驗家們所熟知的。當然你知道，質子比電子重一八四〇倍，我那時候還希望使用什麼數學技巧來解釋在已知力作用下對加速度的增加抗力，而在理論上得到一八四〇這個數字。然而我徒勞無功，我海洋中泡泡的質量正與普通電子相等。我的同事鮑利，他實在十分有幽默感，他正在高喊所謂的「鮑利第二定理」。他的計算表示出如果一個普通電子接近我海洋中因為電子移去的空洞邊時，它會立刻在瞬間內填滿它。這樣看起來，如果一個氫原子的質子真是一個「洞」的話，它會立刻被周圍的環境電子填補起來，而兩個質點消失而成為光線——或一閃伽馬線。當然這情形也應該發生在任何元素中，而且這個「鮑利第二定理」應該先應驗在我們物理學家身上，於是我還沒有機會和別人交換意見之前，便消滅無踪了。就像這樣子！」狄拉克說完便幻成了一道明亮的輻射光。

「先生，」湯先生耳邊有個人在不耐地說，「你當然有權在聽講的時候睡覺，可是你不應該打鼾。教授說的什麼，我一個字也聽不見。」

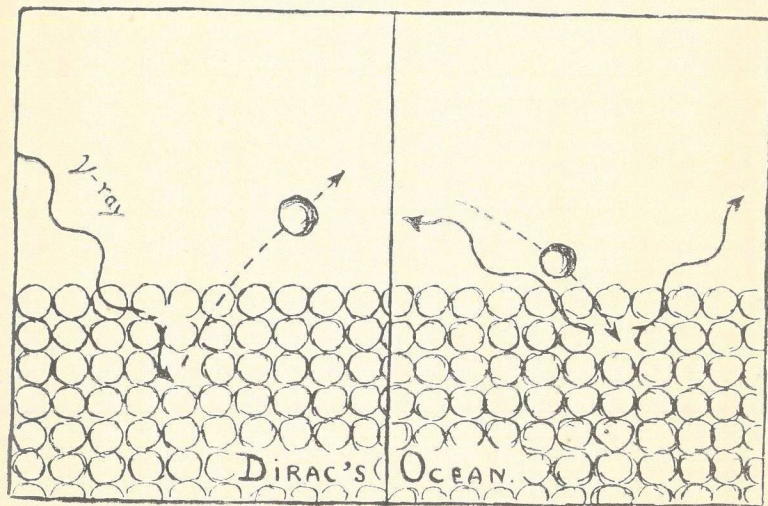
湯先生睜開眼睛，看見講堂裡的擁擠聽眾，和在台上演講的教授。他在說：

現在讓我們來看看如果一個旅行的洞遇到一個在狄拉克海洋找舒服地方的多餘電子時會怎麼樣

。顯然，這個邂逅的結果是多餘的電子填到空洞裡去，而物理學家會驚訝地發現這個填充發生了正電子與負電子「互相消滅」的現象。它隨伴而起的能量以短波輻射發射出去，它正是兩個電子互相吃掉後的遺體。

不過我們也可以反過來想。一對含有正負電子是由有力的外在放射線作用自「虛無中產生」的。由狄拉克理論的觀點來看，這個過程只不過是由連續分佈中踢出一個電子，實際上它不應該稱之為「創造」而是把兩個相反電荷的電子分離開。現在我用一個極簡單的圖解來說電子「創造」與「消滅」的過程，諸位一定可以了解這其中一點也不神秘。不過我要再加一句，雖然嚴格地說電子對的創造過程可能在絕對真空中發生，它的或然率非常之小，你也可以說真空電子分佈過於穩定而難以打破它。反之，在重物質質點存在時，它可以作為伽馬線的支點掘入電子分佈區，而電子對創造的或然率便大為增加而且可以觀測得到。

顯然上述這樣產生的正電子存在的時間並不久，它立刻會和宇宙中非常多的負電子相遇而消滅。這個事實



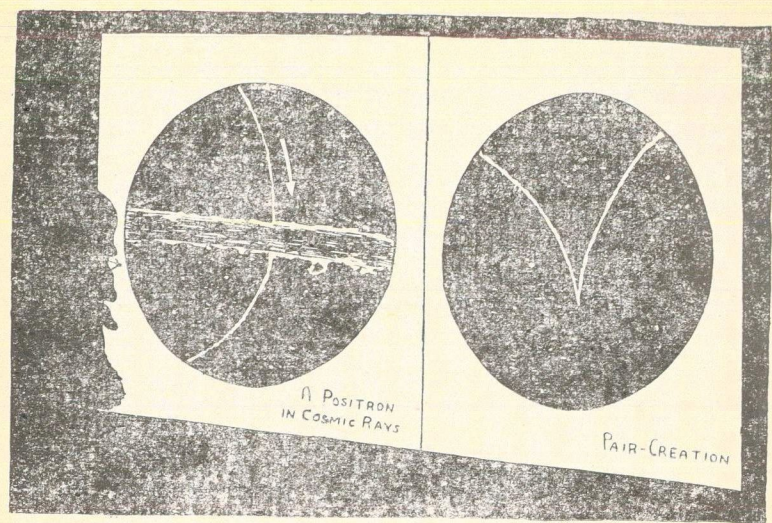
一對電子的創造

一對電子的消滅

說明了這個有趣質點這麼晚才被發現的理由。事實上第一個有關正電子的報告是提出於一九三二年八月（狄拉克的理論公開於一九三〇年），提出者是加州物理學家卡爾·安德生（Carl Anderson），他在研究宇宙放射線時發現些質點與普通電子非常相像，其重要的區別只是它帶着正電荷。不久以後，我們又發現了在實驗室中產生電子對的簡單辦法。那是用一束高頻率的強力輻射線（伽馬線）穿過任何物質便可以得到。

在下張圖中，諸位可以看見宇宙線正子在創造過程中「霧室攝影」。不過我想先說明這種相片是怎麼拍攝的。雲室或威爾遜室（Cloud-Chamber, Wilson-Chamber）是現代實驗物理學中最有用的工具，它的基本原理是任何帶電質點通過一種氣體時，在軌道上便會產生大量離子。如果氣體中有飽和的水蒸氣，離子上便會附有凝結的水滴，而在軌道上形成一條細霧。用強光照射黑背景上的霧帶，便得到完美的相片，詳細表示出運動途徑。

兩張照片的第一張是安德生攝宇宙線正子時的相片，那也是第一次攝到這種質點。水平的寬帶劃過相片是橫過霧室的鉛板，正子的軌跡就像一道細細的劃痕。這條軌跡是彎曲的，因為霧室實驗是在個強磁場之下而影響了質點的運動。鉛板和磁場是為決定質點帶電的正負，其理由有如下述。我們都知道由磁場影響所生的軌道變形情形與運動質點的電荷符號有關。在這個情形之下，磁場佈置得使負電子會自原來軌道向左偏，而正電荷會使運動偏右。如果相片中質點向上去，則它帶有負電。可是如何看出它是怎麼運動的呢？這就是鉛板的用處了。質點經過鉛板時會失去一部份原有的能量，所以對磁場的彎曲度會更大。在這張圖中鉛板下方的彎曲度比較大（用肉眼較難看出，需要用儀器量測）。結果我們看出這個質點向下走，它的電荷是正的。



另一張相片是由劍橋大學的傑姆士·查德威克 (James Chadwick) 拍攝的，它代表在霧室空氣中創造的電子對。一道強烈伽馬線由下方進入，在相片上看不出它的軌道，在室中央產生了一對電子，兩個質點互相飛開去，因為它們受到磁場影響而向不同方向逸去。看了這張圖，諸位也許會問為什麼正子（左邊者）不在經過氣氈時消滅掉。回答這個問題的也是狄拉克，任何會玩高爾夫的人都會懂得他的理論。如果球在果嶺上，你打得太重，即使你目標瞄得很準，它也不會進洞。實際上一個迅速滾動的球會跳過洞繼續向前滾。一個迅速運動的電子也一樣，它不會掉進狄拉克的洞去，除非它的速度減少得很多。所以一個正子在最後到旅途終點時，才可能發生消滅的現象。而且仔細的觀測可以知道這個說法是對的，這個事實代表對狄拉克理論的進一步證實。

剩下來，還有兩個問題需要加以討論。第一，我曾經把負電子看作狄拉克海洋裡的洪流，而正子則是海洋裡的洞。我們可以倒過來看，把普通電子看作洞

，而把正子看成被扔棄的質點。這樣做的話，我們只要將狄拉克的海洋假設作沒有洪流，而相反的是永遠缺乏質點。我們也可以把狄拉克的分佈看成一塊瑞士乳酪，上面充滿了洞。因為普遍缺乏質點，所以洞永遠存在，如果分佈區中有質點被扔出去，它不久便會跌回一個洞中去。這些說法在數學上與物理學上絕對相等，不管我們選擇什麼方法，卻沒有差別。

第二點可以用下列問題提出來：「如果我們生活着的世界中負電子的數量相當豐盛，那麼我們可不可以假設宇宙另一部份正是相反的呢？」用另一句話說，狄拉克海洋的過多洪流是不是在另一個世界中缺少那些質點而平衡？

這是個十分有趣而又難以解答的問題。事實上因為那種原子的構成是正電子繞行在負核子外面，所以在表面上它和普通原子沒有差異，也無法用光譜方法來決定這個問題的答案。我們知道，大仙女星河可能便是這種結構，然而要證實這個看法，只有拿一件那邊的物體來，看與我們宇宙東西一碰之下是否消滅無踪。那一定是可怕的爆炸！最近有人談起天空有些隕星發生爆炸，不知道是否因為那種反結構所發生的。

第十五章 日本料理

有個週末，毛娣去約克郡探望她的姑媽，湯先生便請他岳父大人到一家著名的日本料理店吃晚飯。他們坐在矮桌子後的軟墊上吃着日本名菜，在小杯中啜飲米酒。

「告訴我一件事，」湯先生說。「前天我聽戴樂金教授在演講時，說原子核中質子與中子是由某種核子力量連結在一起的。原子裡吸引着電子的是不是也是那種力量？」

「哦，不，」教授答。「核子力是完全不同的東西。原子外電子被核所吸引的是普通靜電力量，它最早是在十八世紀末年由法國物理學家庫倫 (Charles Augustin De Coulomb) 加以詳細研究的。它們力量相當弱，而且其強度隨距離平方成反比。核子力則不相同。當一個質子與一個中子接近時，如果沒有直接接觸，則二者之間沒有力量。等它們一發生碰觸，就出現了種使它們固結的強大力量，它就像兩塊膠帶一樣，當它們離開時，沒有一點力量，可是等一旦相碰時，便像兩兄弟一樣緊緊地黏在一起了。物理學家們把這種力量稱之為『強相互作用』。它們與兩個質點的電荷沒有關係，即使在一對質子中子，或兩個質子，或兩個中子之間都一樣存在。」

「有沒有什麼理論解釋這種力量？」湯先生問。

「哦，有的。三十年代時湯川秀樹提出一項理論，認為那是由於兩個核子（一個核子是指一個質子與一個中子的集合名詞）互相交換一些尚不知名的質點。當兩個核子互相接觸時，那些神奇的質點便開始在二者之間來往跳躍，而變成了連結兩者的強烈連接力量。湯川由理論上得到它們的質量，它約為一個電子質量的二百倍，而比質子與中子的質量小十倍。後來在國際物理學家開會時，

海森堡 (Werner Heisenberg) 提議把它稱為介子 (Meson)

。看，看舞台上，現在開始跳介子舞了。」

六個藝妓由舞台後出來，開始跳舞，每個人手上拿兩個碗，一個碗由一個碗跳進另一個碗裡去。後面又伸出一個男人的面孔開始唱歌：

我發現介子

得到了諾貝爾獎，

介子得到諾貝爾獎。

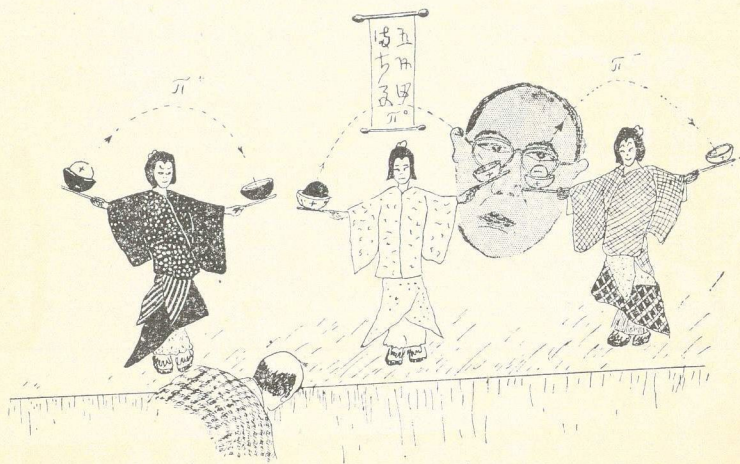
日本人稱它為湯子

我謙虛地加以反對，

而日本人稱它為湯子。

「為什麼有三對藝妓呢？」湯先生問。

「它們代表介子交換的三種可能性，」教授說。「所以也可能有三種介子：正電，負電和中性。也許三者都參加製造核子力量。」



藝妓表演特技

「那麼，現在一共有八種基本核子，」湯先生數着指頭說，「中子，質子（正與負），負與正電子，三種介子。」

「哈，」教授說；「只有八種！說八十種還差不多。首先，介子發現有兩種；重介子與輕介子，各以希臘字母 π 和 μ 代表，也稱為 π 介子 (Pions) 與 μ 介子 (Muons)。 π 介子是在大氣層邊緣上非常高能的質子衝擊了形成氣體的原子核得到的。它們十分不穩定，在達到地球表面之前便分裂而成 μ 介子。那是最神秘的粒子——和既無質量又無電荷只會傳遞能量的微中子。 μ 介子生存得比較久，大概約十萬分之一秒，所以它能夠抵達地球表面，在我們眼前化為普通的電子與兩個微中子。還有一種用希臘字母 K 代表的 Kaons。」

「藝妓在表演中用的是什麼質點？」湯先生問。

「嗯，可能是中性的 π 介子，它可能是最重要的粒子，不過我也不敢斷定。現在每個月大概都要發現些粒子，它們都很短命，甚至與光速一同運動，它們離發源地幾厘米便衰化了，所以我們送上大氣層上去的儀器也沒有辦法探測得出來。」

「然而我們現在有了有極強力的質點加速器，可以把質子加速到和它與宇宙線一起來時的高能量；數十億電子伏特。我們附近山上便有一架那種機器，稱之為勞倫斯加速器 (Lawrenceatron)，我願意帶你去看看。」

「一輛汽車送他們到裝質點加速器的大房子去。進了大門，湯先生對這複雜大機器印象至深。不過教授對他解釋說，它樣子雖然複雜，不過原理和大衛殺死奇利阿斯的彈弓差不了多少。帶電的質點進入大鼓室的中心，沿着螺旋軌道前進，由交流電衝擊加速，而用強磁場固定它的軌道。」

「我好像以前見過這種相似的東西，」湯先生說，「幾年前我參觀過叫『原子撞擊器』的加速器。」

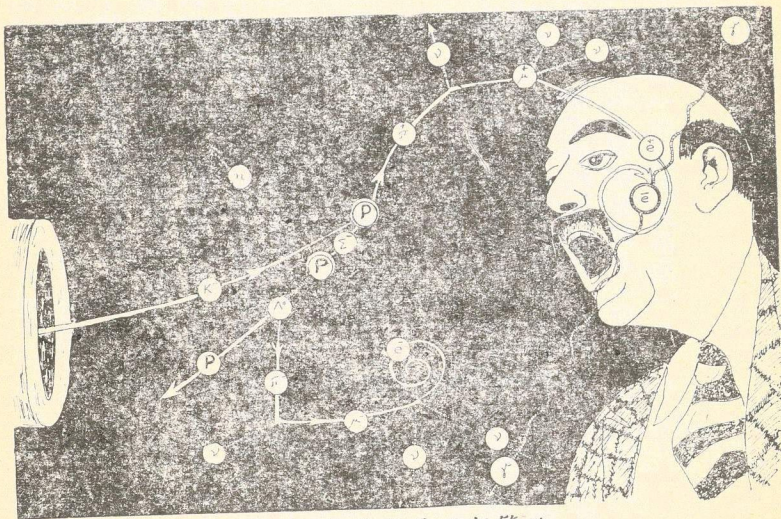
「是，」教授說，「你以前看過的本是由勞倫斯博士發明的。現在你見到也是依據相同原理，不過以前的粒子只能加速到數百萬伏特，而這架可以加速到數十億伏特。美國最近製造了兩架。一架在加州白克萊，稱之為 Bevatron，它可以製造數百億伏特的高速。長島的布魯克海文另有一架加速器，稱之為 Cosmotron，也許這個名字過份了點，因為普通宇宙線的數量比這個機器產生的為高。在歐洲，日內瓦附近的塞恩也有與美國兩架相比的加速器。莫斯科也有一架。」

湯先生向四周看看，又發現一扇門，上面寫着：

「阿法列茲液氫浴池設備」

「那邊是什麼？」他問。

「哦！」教授說，「勞倫斯加速器製造了更多的



粒子像兔子般繁殖

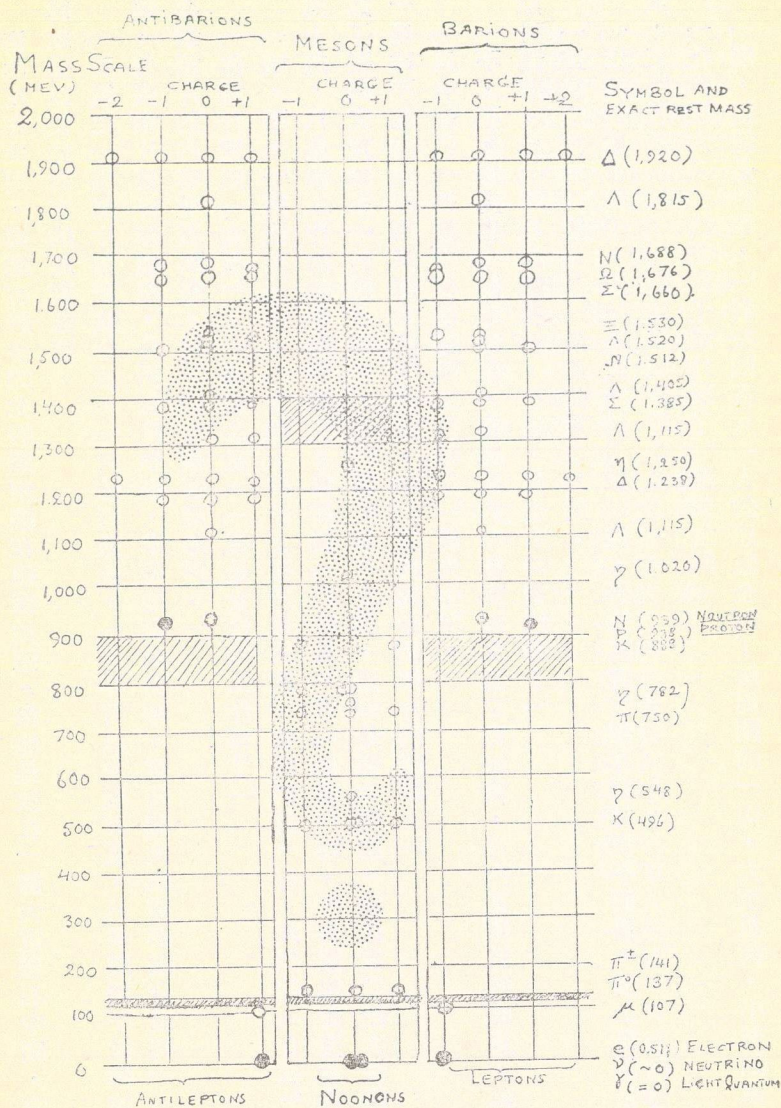
不同基本粒子，能量也越來越高。要研究分析它們，必須觀察它們的軌道，計算它們的質量，壽命，互相作用與一些別的性質如奇特性與對等性等等。以前科學家們用威爾遜發明的所謂霧室，威爾遜因為它得到一九二七年的諾貝爾獎，那時幾百萬電子伏特能量的高速帶電質點可以用來作為科學研究。科學家將粒子射進上面蓋着玻璃裡面裝有氣體與飽和水蒸氣的霧室。當底部被急速撞下後，裡面的空氣因膨脹而冷卻，水蒸氣便變得過飽和了。因之一部份水蒸氣便凝成水滴。威爾遜發現蒸氣凝結成水後會在離子（氣體帶電的粒子）邊運動得比較快。可是在帶電粒子經過霧室時氣體沿着軌道離子化。而用光源照射之下，加上室底層塗着黑色，便照亮了霧狀的帶子。你一定還記得我上次演講時拿出來的照片。

「現在，因為宇宙線粒子的能量比我們以前研究的要高一千倍，情形便不同了。它們的軌道太長，霧室太短，而無法從頭觀察到尾。」

「最近一位年青的美國物理學家格拉塞 (Donald A. Glaser) 在這方面躍了一大步，因為在一九六〇年得到諾貝爾獎。根據他的故事，他有一次無聊地坐在酒吧上望着面前啤酒瓶中升起的氣泡。他忽然想起，如果威爾遜遜在氣體中研究水滴，我何不在液體中研究氣泡？我不想再詳細討論技術問題了，」教授又說下去，「困難是在設計機器上；結果爲了使它的性能良好，我們氣泡室中所用的液體是液體氫，它的溫度約在華氏水沸點以下五百二十度。隔壁是路易·阿法列茲 (Louis Alvarez) 建造的大容器，裡面裝滿液體氫，我們常常管它叫做「阿法列茲浴池」。

「哦……我覺得有點冷了，」湯先生說。

「嗯，我沒叫你進去。你由透明牆可以望進去裡面的粒子軌道。」



比週期表還要複雜

浴池正在使用，周圍有許多閃光的照相機在連續拍照。浴池是放在一個大電磁石中間，它用來扭轉軌道以便估計它的運動速度。

「要製出一張照片需要幾分鐘，」阿法列茲說，「每年可以有幾百張，只要機器不故障停下來修理。每張相片要仔細觀察，分析每條軌道，準確地測量曲率。這時間大概需要幾分鐘到一小時，那要看相片的內容有否興趣，計算的女孩速度如何。」

「你爲什麼說『女孩』？」湯先生說。「這是女性的工作嗎？」

「哦，不，」阿法列茲說，「實際上許多女孩乃是男的。在我們這一行，我們的『女孩』不指性別上的，只是說工作的效率與準確性。當你說『打字員』或『秘書』時，你會想起女性而非男性。爲了要研究實驗室中的所有照片，我們需要數百女孩，這倒是個大問題。因此我們把大量照片送到一些建不起加速器與氣泡室的大學生，他們買得起分析照片的機器。」

「只有你們一個機構從事這項工作嗎？」湯先生問。

「不，不，別處也有同樣機器，像長島的布魯克海文國立實驗室，日內瓦附近的塞恩，蘇俄的莫斯科都有。他們都在海底撈針，不過，真也有時被找到！」

「這些工作有什麼用？」湯先生驚奇地問。

「找新的基本粒子，那比海底撈針還要困難，研究其間的相互關係更不簡單。牆上掛着張粒子的表，它所包括的粒子已經比週期表還要多了。」

「花那麼大功夫找新粒子做什麼？」湯先生問。

「嗯，這就是科學，」教授回答。「人的思想企圖了解周圍的一切，大至星河，小至細菌與基

本粒子。那是十分有趣的事。」

「這種科學的發展對於人類的福祉有實際的用途嗎？」

「當然有，不過這是次要的目的。你以爲音樂的目的是教號兵早上叫軍人起床，叫他們吃飯，叫他們去作戰？人家說，『好奇心殺死貓』，我說，『好奇心造成科學家』。」

教授說完這些話，向湯先生道聲晚安。（完）

（全書譯畢於一九六九年三月十九日）



極微物理世界 的真相

與湯川博士一夕談

盧兆麟 譯

引言

對電子、質子等構成的原子世界，我們都有初步的認識；但這些微粒之間，又是如何形成的呢？對此微小世界目前物理學家之間研究，却是議論紛紛，莫衷一是。那是由於構成人或貓、青蛙等，成為萬物根元的基本粒子（即微粒）已增多達三百個以上所致。值此停滯期的物理學微粒世界，有如春雷轟動一般加以搖撼的，便是湯川博士新近倡導的新理論了。下面是湯川博士答覆雜誌編輯的質問，對新理論內容所作之解說。

問：我們目前所瞭解的微粒子，乃構成所有物質根源的材料，且擁有粒子性與波動性及重的性格。起初物理學家所發現的，僅只是電子、質子、光子等極為有限的微粒，但至目前却已增到不勝其繁的衆多數目，甚至遠超過元素的數目了。這事實本身，便已足夠令人感到莫測高深！所謂繁多微粒的出現，是否表示在其內深處，尚有某種更爲基本的東西存在？抑或表示還可以更進一步細分下去？諸如此類單純的疑問，是必然會產生的。因此首先請問，在理論上是否早預料到微粒是陸續會出現的嗎？

湯：如果我們回溯早期的物理學發現，在十九世紀末所發現的電子，便是今日我們確認為微粒夥伴之一的濫觴。進入二十世紀不久，則又探明光本身也持有粒子一般的性質。由此想法出發的便是量子論學說。

在自然界裡，則有粒子形狀的電子構成的物質，以及像光能那種由光子構成的兩者。因此，自然地將物質和能說成一起，統歸於由粒子所構成。另外在相對性理論，仍有能 (Energy) 即質量的關係存在，因而依據物質和能量爲一整體想法，以探求其構成的根源——古代爲原子，而今即爲微粒子——後來採用微粒的觀念，就逐漸獲得統一。

然在十九世紀末期，則又發現放射能的現象。這是跟別種現象大異其趣的不尋常現象。據此才確明，從原子中可以放出非常龐大的能量。

到二十世紀後，對轉換元素的新鍊金術夢想兌現之前，就已闡明原子是由電子和原子核所構成的事實。及至一九三二年，有了中子 (Neutron) 和其他偉大發現，微粒的世界才獲得了發展的雛型。

由四種粒子開始

問：請問「微粒子」名稱的由來？

湯：這名詞雖然早已出現，但其含義却不甚明確。迄至一九三二年中子的發現，對原先所發現

氫核子的質子，也認作是微粒之一種。於是，遂以電子、質子和中子，加上光子，認定自然界是由此四者構成了。

然在同一年，卻又發現正子的存在。正子是與普通電子相反，具有正電荷而與電子有非常密切的關係。但在一九三一年左右同一時期，包禮 (Pauli) 又提出：應該還有一種微中子 (Neutrino) 的粒子存在。嗣後經過一段時間，才又發現「介子」的另一微粒。至此，在種類上雖已增加不少，但在數目上仍屬有限，且其各別存在的理由上，仍擁有充足的根據。

爲什麼介子有兩種？至此階段未免發生是否有其一方屬於多餘的疑問。可是兩種介子確已存在的事實，却從一九四七年宇宙線的研究裡獲得了證明。

問：那就等於一座天然的加速器囉！

湯：也可以那麼說。從古到今，宇宙線一直是含有未知微粒而異乎尋常的一座天然加速器。但到了一九四七年，却在宇宙線裡面發現到有一種更不尋常的新質點——當時稱爲V粒子。嗣後經過實驗，又發現此粒子中也分成好幾不同的種類。這就出現了一個嶄新的局面出現。

簡說之，原所推測微粒是構成物質與能，亦即組成自然界的最終單位，但因太多種類的出現，反而使人有無所適從之感。

自一九四八年左右開始，一種大型足夠破壞原子核的加速器終於問世，實現了經由人工製造介子的事實。而此加速裝置，則又一年復一年地加大，加速能量也更見增高。因此像前述的新粒子或V粒子，以及各種各樣來路不明的質點，竟從加速器裡接二連三地出現。

複合粒子的構想

自一九五〇年起十年間，陸續發現的不同粒子，在數目上大約有三十種之多，與一九三〇年代相形之下，乃造成一個截然不同的局面。到一九六〇年，各國加速器更趨於大型，研究本身也更

臻於精密，從而發現壽命極其短暫，可否列入微粒之類都無法判明的無數粒子。對此，一般都以「共鳴準位」的名詞加以稱呼。以目前情形而說，只好把它算作微粒之一種。不過，一旦列入微粒後，由於微粒種類將達好幾百種，因而在一九六〇年代，乃形成了對這項問題有所解決的緊迫局面。

這種情形一出現，自然就產生微粒是不可能構成最終單位的想法了。

問：那是否表示，在各別的粒子間有着共通的性質存在？

湯：如果仔細解說的話，一定能瞭解其中含義，但以最單純的說法，則從以往歷史經過的延續作為設想，原子是人們所認為最終的單位，而它是由電子和原子核構成的。至於原子核就再由質子和中子構成。如是逐分下去，將能求得更加基本的構成單位。

這種想法，也可以適用在微粒上面。可以說各別的微粒，大都不是基本的性質，只有其中很少一部份具此基本特性，其餘的仍由若干此類基本粒子所聚合，等於是一種複合的粒子。以此想法預測今後發展時，坂田昌一博士所創設的「複合理論」，必定將受到學術界的注目。

從此複合理論的發展，再啣接我們所知微粒方面的知識時，似可推斷出在一般粒子中所未曾含有的某些基本粒子。坂田博士原先的構想，以為質子、中子或如前述V粒子中的 λ (Lambda) 粒子，似可作為基本的粒子。這構想雖佳，但是事實上却顯得不盡如人意了。那是說，應從別處找出基本構成的三粒子才妥。然而，如果說將與既有的不同，那就會顯現一種極其奇妙的性質了。事實上，那種基本構成的粒子是否存在？却是一件足堪考慮的問題。即使在今日，依然無法證實那種物質存在。同時換成另一說法，也許它不屬於平常的粒子，而是與粒子性質迥異的東西。可以說複合粒子的想法，是這樣發展來的。

問：上面曾說已有很多粒子出現，關於這點，是否仍無法確定有真正代表性的粒子存在其中？
湯：如果按照上面說法，確有電子、微中子和介子之一的 u (up) 介子等幾種。這些都被稱為輕粒子，並由它們組成一特別的族類，因此，有人主張它們才是基本粒子。其中，他們特別重視微

中子的存在，認它是最基本的質點。

如果回溯過去歷史，一九三〇年代就有法國學者的杜·布羅伊，提出光子是由兩個微中子構成的學說。此後，這想法就以各種各樣形式發展了下來。武谷三男博士也有過微中子一元論的構想。這雖是上述想法的延續，但亦有他特殊論點在的。

問：微粒子的數目雖然日趨增多，但以現狀說，是否如海森堡 (Heisenberg) 在東京的演講所指出，微粒還是基本的單位，至於比它深奧的，或具着他種形狀的新粒子，目前還不需去考慮，是這樣嗎？

靴帶 (Boot Strap) 理論

湯：如果從分子到原子，從原子到原子核，從原子核到質子、中子的方式來看，當各種各樣反應進行時，實際上還是由分子分裂為原子，原子再結合為分子的。同時，原子核也從原子裡分出來，且進一步破壞原子核時，仍會出現質子或中子的，如果把這些重新結合，實際上照樣可由質子或中子製成原子核。故此，向更加基本或單純構成的分割，然後再加以結合，這過程目前就在自然界裡發生。同時經人工方式，也可以實現。因而，才有海森堡那種想法，可是一到微粒子的階段，那就不見得全依于如是簡單的方式了。

譬如，依據介子理論，當中子獲得帶有陽電荷的 π 介子就成為質子。反之亦然。雖然如此，也不能如此這般的就說：質子是中子和帶有陽電荷 π 介子兩者的複合體。相反地，有時却可以說中子是質子和帶有負電荷 π 介子兩者構成的複合體了。如果再增大加速器能量，雖會出現各種各樣的新粒子，但也不能說，其中的一種要比別種更簡單，亦即說，可把某粒子再分成不同的兩種粒子，而此時被分割的碎片是否就顯得更簡化，却不能一概而論。因為個別地加上別種粒子，仍會出現更複雜的粒子。這是說，分割的過程並不是單方的行得通。因此，對判明何者屬於單純粒子，何者將屬

於複合粒子等，仍是異常艱難的過程。

於是乎海森堡才說：任何微粒子都無法說何者最爲基本，祇好說它們是互相變遷的東西。美國的杜伊也抱有相同的看法，他說微粒子是兩顆——兩顆以上亦可——別的微粒之集合，並以互等的地位同時存在。可以說它們是互相在繞轉，而各自成爲對方構成的要素。因此，用靴帶來形容那種關係。可見，自然界是以各種各樣微粒，在互相變動的方式下形成的。

問：很像是自然界的輪迴囉！

湯：這樣表示似乎是很恰當，不過倘要改用更正確的說法，那就非常麻煩了。究竟能否給與很明確的定義都有了問題。同時是否能依此來作結論，也令人懷疑。因此在某種意義上，海森堡本人仍在構思，是否可產生一種較所有微粒更基本的質點，以取代目前的微粒子。

這就是海森堡所持的理論，亦是統一場理論的一種。因此無論是複合理論，或杜伊的靴帶理論，抑或爲海森堡的一元論構想，在廣義上，他們都指向於統一場理論，這是相同的事實。

問：如上所述，即使單粒分成爲雙粒，它們之間也不等於具有相同性質，反而變成複雜粒子的情形都有。所以倘向每顆粒子一一追求的話，那就漫無止境了。因此，勢必創求一種可以界說所有微粒的理論。請問，去年（一九六七年）您在羅契斯特（Rochester）大學國際集會發表的「基域理論」，對導成其發軔的「非局部場理論」，也許有一種與上述海森堡不同的想法，浮現在您腦裡的吧。

一九四二年是分歧點

湯：對日本微粒理論的研究，一九四二年可說是一個分歧點。這理由是說，坂田和谷川兩博士的「二介子論」是在這年發表的。這對以後一九五〇年代坂田博士所發表的複合理論，在想法上仍有一脈相通之處。

這裡還要附帶說明的是，我當時曾有過賦予微粒子一種「擴展」的想法。如果微粒是個點，不具大小的話，在點的周圍就會形成場（Field）的。譬如這裡有電子，現在假定電子是電荷集中於一點的形態，則其周圍的電場就會顯得很強大。可以說，這電場本身就具有能量了。可是這種能量，却會變得無窮大的。這類問題，很早以前便已存在。這就是稱作「發散困難」的最單純形態，且必須引用量子力學，就在古典的電氣力學立場便顯得無窮大，構成頗感棘手的問題。

當時作爲直接目標，我再三地論求：如想創立沒有那種發散的理論，在某種意義上，仍須給微粒本身一種擴展的解說。我從事與此系統有關的工作，迄今已有二十五、六年光景了。

當時，曾出現朝永振一郎博士所持的另種看法。他是主張不以擴展的方式，而是就原來微粒理論，尤其是針對量子電氣力學，來謀使原有記述法更進一步的符合相對論的形式，以代替我所設想橫跨於四度空間的擴展——橫互於時、空雙方擴展的方法。這就是所謂「超多時間理論」的學說。由此想法出發，期想導成更完善的理論。同時從此角度看時，也獲得了對發散問題可以重作估量的結果。這是說，發散本身雖不至於消失，但可以使它變得無害。

據此，以量子電氣力學範圍爲限，雖仍留下無窮大的問題，然而把它巧妙處理，在實驗上却可以求得一種足夠令人驚訝的極其吻合的結果。一九四二年的日本，就有坂田、朝永兩博士，加上我本人分成三派，各自在發展其理論。

從那時以來，我未曾放棄給微粒子擴展的想法。並且在一九五〇年左右，把它整理成論文體裁發表的，便是非局部場的理論。而此擴展，則意味着四度空間的擴展了。

微粒子的分類

問：這樣不就脫離了量子力學的原來軌道嗎？

湯：對此，若再回溯過去的歷史，大約在一九三〇年代，對量子電氣力學本身，馬可夫（Markoff）

（）便有過以後來所稱非局部方式來設想電磁場的提案。但限於當時情形，這種構想仍難獲得進展。在一九五〇年前後，當我整理成非局部場理論時，已發現有各種各樣新粒子。因此隨着有此擴展的構想，逐漸就抱着以假定微粒本身是持有內部結構，由於內部結構的不同，據此就可以說明微粒性質的各種各樣變動了。

問：那是說，榮獲諾貝爾獎時期曾在您腦子裡浮現的非局部場概念，就從一九五〇年起逐漸趨於定形成熟。那麼，最後以顯明的「基域」理論形式統括而成，又是什麼時候呀？

湯：一旦微粒子種類增加，對它進一步從事歸類整理就逐漸變得可能，因此在一九五〇年代，才有東大的西島和彥教授，大阪市大的中野董夫教授以及美國蓋爾曼教授的研究同時出現。這對當時所發現三十種左右微粒子，除去特輕的粒子或光子類外，對較重的粒子或介子分類時，就顯得是一種非常有效的方法。坂田博士的複合理論，也是根據此一立論的。

問：那就等於是計測微粒子的一種標準囉！

湯：可以說是分類法吧。即使在今日依然是非常有效，不過雖有這種新量子數的出現，也祇能給與抽象的意義罷了。這含義是說，在已知的各量子數中，最具代表性的乃旋轉（Spin）的量子數。例如就地球自轉來說，針對其自轉方式：右轉或左轉，快或慢，轉軸的方向如何，以及角運動量有多大等各項，概可由旋轉來作決定。

一般我們所知的，多半是連續，可以改變其方向或大小，但如電子那種微粒，旋轉就非常受到限制，並獲知在旋轉的大小上會有某種單位存在。如果以此單位測量，就祇能測出零、整數，或整數的一半即半整數了。這是說，祇能測出這類隔三跳四的大小，而不連續。這看起來雖很奇怪，但依量子力學想法，一定是這樣的。

事實上，旋轉仍屬於在原地迴轉的現象，故易于使人領會。在此意義上，旋轉係在我們所住時間、空間世界裡，作以表現某些動象，因此，縱然再經過抽象化，也可以理解的。

但包括新微粒而為分類所需的量子數，例如雖有同位旋轉（Isospin）之類的量子數，奇妙性或其他各種各樣名稱，看起來這類新的量子數，似乎很能對應微粒子的表現，事實上却又不盡然了。

但是在非局部場的立場，微粒就不是質點，一開始就當作擴展看待。並且當其各個部份互作繞轉時，其中也會出現旋轉。同時也許會出現更加不同的量子數了。可以說，一切都從此廣義時間、空間的某種運動方式所演化而顯現出來。換言之，依據結構或運動狀況的不同而出現。總之，我們是依據上述方式來理解的。在這方面，複合理論也期望作相同的嚐試。

但問題的重點是說，在那種時間、空間裡，可否按此方式將所有一切都統歸於某種運動的觀點？如果真的可能，則因目前微粒的種類繁多，冀望對於區分微粒的類別和出現的原因上，儘可能在時間、空間世界中結構或運動上的相異的觀點上，作一解說。

擴展的概念

問：依據先生的觀點：在時間、空間世界裡設以某種有限擴展，在那裡就有各種各樣微粒所據的四度空間領域，所謂「基域」就是指此而言的吧！

湯：如果進一步分析非局部場構想時，雖給與「擴展」的解說，但此擴展的方式却有很多種。像分子乃由兩原子相聚而成的。這是說，兩個氫原子相聚就成為氫分子了。其中，縱然有兩個氫原子的原子核，即是有兩個質子時，它倆之間仍具有回轉或振動的相互運動。起先我所構想最簡單的非局部場的情形，則與此相似。

至於是類質子即有質子的兩質點，其間却顯示着某種複雜的機能。依據那種機能，才做出振動或同轉的運動。非局部場理論的想法，就顯得更抽象了，雖不認定那是作為質點的兩微粒之相聚，但仍留存與此相近的濃厚性格的。一旦發現有這麼多微粒時，對最初所想的非局部場概不是時間、空間中的一點，而是一次的設想兩點，結果仍感到不敷應用。於是，對同時設想三點、四點的出於

更廣義非局部場的想法，後來就接連產生了。

這則理論，原來是和京大的片山泰久教授合作研究的。那時候，名大的高林武彦教授也正在從事相同的研究工作。然而另一件必須提及的是，雖然同樣說是擴展，而且在某些意義上亦可單純的列入非局部場一類的想法，但稍微顯得不同的，那就是一開始就當作連續充塞着東西看待的想法。

其中最簡單的，就是不變形稱為剛體的東西。這不但可以同轉，其整個中心還可以變動。現實所存的雖不是完全的剛體，但與此相近的剛體，仍然很多。曾有一種將身邊東西予以理想化的剛體概念。我想那是微粒的剛體一類的東西。當然，那是必須作為四次元世界中相對論的剛體來設想的。在一九五〇年代，中野博士曾從事這類研究，而法國的維吉博士亦持有同樣的構想。

依照此一構想進行研究的日大原治教授，到了一九六〇年代就想到以形狀稍為得以變化的作為起點，依據量子力學使其能符合相對論從事處理研究。若用行家的說法，則是連續充塞着東西這項構想了。在這方面若參看原子的相聚而細看原子時，則再有原子核和電子的聚集，而會產生認為是不連續的想法。但現在想求的問題並不在此，而是對構成電子、質子、中子等根源的粒子本身，究竟在如何擴展的問題。

問：這種說法太深奧了。是否說：把連續的東西之聚集加以分割下去就可以求得微粒，而在那裡可作為不連續的相聚一般？

湯：最好我們提舉前述的旋轉來作考察吧。其大小可說是不連續，而具有有時為整數，有時為零的性。其中，對於半整數的情形就非常難懂了。

現在假定這裡有兩粒子。換言之，正有兩質點互相在繞轉，如果其一方較重而停止，那末另一粒子就在周圍繞轉。從軌道繞轉運動出現的旋轉，便被限於零或整數。從那裡，半整數是不會立刻出現。電子雖是點粒子，但作相對論處理時，就從那裡出現它自己的旋轉。戴拉克的學者，曾根據這種構想來引導半整數而獲得成功。我們是依從擴展這一方式來測求的。幸虧我們獲知，當連續擴

展的物體成為剛體時，旋轉就不拘半整數或整數都可以了。可是，如果它是由幾個點粒子構成時，却是不行。因此，與其以點粒子的聚集，不如一開始就抱持連續體的想法，反而可獲得順利解決。

天地者萬物之逆旅

平常我們提到連續體時，在印象上顯然認為那是有大小、形狀並充滿某種東西的。依此印象，使其能符合量子力學或相對論而重加認識的話，那將會怎樣呢？

為此，我們先設想一種中空的狀態。所謂中空的狀態，乃一種未具能量的狀態。其次，我們在時間、空間世界裡，設想很有限的一小領域，那裡是全無能量的。如果能量以某種形式進入那領域而黏住的話，則依黏住的方式將變成物質、粒子或微粒之類。倘此領域可以作成無限小，則其極限就變得跟粒子相似，等於功虧一簣了。所以，在那裡就以某種方式向小的給與界限，據此來設想一種無法再分割的時間、空間領域之最小單位。「基域」的名稱就如而是而來。

於是對這種基域付以能量，並行加進方式等等，不同的各種各樣微粒就會出現。這就是大略的說明。

問：如上所示最低能量，或在零狀態下空無一物的空間等想法，西歐學者就很難想到的吧。

湯：在我中學時代，我就嚮往老莊的哲學思想，因此從小就受到其薰陶。這裡我可以提示「天地者萬物之逆旅」一句名言；這是唐朝大詩人李白為序文而作的。其後接着有「光陰者百代之過客」一句。對這句，芭蕉（日本名詩人——譯註）是最欣賞沒有了。他把這句改成日語方式，採作他著名「奧の細道」一書的開頭，這裡芭蕉或李白的故事祇好另當別論，至於「天地者萬物之逆旅」一句含義，如果改成現代說法，那就意味着：把時間、空間合在一起的四次元空間則如包容萬物的旅館一般了。這樣構想的背後，無疑是有老莊思想的底流。

但尚不止於此，另外還有愛因斯坦一般相對性理論的觀點，我們在上面解說裡屢次提到的相對

論，實際上是指說着特殊相對論，而關於萬有引力的一般相對論，却是與其他物理學理論完全異質的東西。凡涉及整個宇宙間的問題時，它就如萬應靈丹一般再適切沒有了。討論時間、空間四次元空間的幾何學，仍能原封不動重疊於一部份物理學之上。顯然地，萬有引力原來是物理的概念。而它就以原有形態，具持着幾何的性格，那是一般人始料不及的事。愛因斯坦却能想及於此，終以一般相對論獲得了超過牛頓萬有引力所擁之成就。這純然是一件奇跡。這裡所蘊含的思想，就成了我構想「基域」的重要關鍵了。

愛因斯坦所想的，實際上是一個龐大尺寸的大宇宙，等於是四次元的幾何學。可是一提到龐大宇宙的時間、空間究竟又如何時，卻又顯得深奧異常，沒有一個人肯去推想了。按照前述之特殊相對論，四次元空間不過是一種框子罷了。若借幾何學的說法，就稱為明考夫斯基空間（Minkowski Space），我們是不去碰它的。但在它框子內，我們就設想有關物質或能量的各種情況。在極微小世界，我們仍可想像時間、空間應有的存在方式。

依照基域的構想，那種細割時間、空間的方式，一定有着界限。這並不是我們隨便決定，而是有它理由存在的。基域的想法等於是一般相對論的極微化，可以這樣看的吧。

問：愛因斯坦也好，老莊也好，可以說古來的思想，仍在近代物理學中繼續留傳的吧。

輪迴轉生的思想

湯：莊子曾提過「混沌」這樣一句，這句話似給人正有微粒在飛繞的世界那種感覺。也有人說，如果取喻不恰當，混沌也可以表示死亡，凡此都依如何解釋以及感受的人如何去聯想而有所不同。依我的感覺，似乎對現代的微粒世界，也有某種之啓示。由是而看，人類的思想歷史，委實是奧妙不可言了。

問：從人腦子裡產生的基本想法，似乎經過一千年，二千年，也不易改變的吧。

湯：在遠古的人類祖先腦子裡所掠過某種奇想，也許經過好幾百年代後世，才有人能夠領會，或著表示在人類想法裡，仍存有某種共通的成份。例如德莫克里脫（Democritus）的原子說，實在是驚人的創見。另在希臘、中國、印度等地古老思想中，亦有某些極其奇奧的創想。柏拉圖對話錄裡曾經提到蘇格拉底所說的一句：「人由聯想以獲取知識」。當時是把它連結於輪迴轉生思想上，可說是德莫克里脫往昔想到的，竟又復活了起來。牛頓在當時，也正從事類似原子的想法。而至道爾頓（Dalton）後，才顯明地以德莫克里脫原子方式出現。這可以說是得力於聯想的功能。

問：可以說古老的東西，改換了數學或物理學新貌出現的吧。

湯：所以在我一生中，往往會忘掉很早以前想過的事，等到後來，才由別事當中重新想起。可是仔細的想，即使在前二十年想過的，仍與新近所想的頗為接近。再就思想說，創造行為雖屬於較少數的人，但這種嶄新創意却頗關重要，可是從反面看時，出乎意料地往往是很早前便有過，或同一人早想到再重加整理完成的，為例不少。

問：從前述中空的四次元空間，倒想起了一件事：對微粒原形的探求，決不可與空間的結構脫離。而此空間，却具備可作包容微粒的一種形如 Reerve Seat 的東西，像噴射客機或新幹線（日本最快速鐵路——譯註）車廂裡的特別座位，那裡就裝設着一種空曠而類似擴展一般的東西，這在前面，已有提到。依我的想法，先生正使用一種稱為數學的推理工具，藉以引導思想或哲學納入物理學的世界，且已面臨重要的關頭。聽說先生所用的方法，不是微分方程式而是差分方程式，是這樣的嗎？

自然在飛躍

湯：牛頓和萊布尼茲是微分學的始作俑者；特別是牛頓本人，他進一步研究運動，終於建立了一套力學體系。他所講運動，完全是連續性質，却可細分為無限小之動作。針對物體的位置，求取

在極短促時間所作微小變化，從那裡則可界說各瞬間所顯示的速度。牛頓運動法則是使用微分方程式，對它求解便可決定運動之如何了，但至二十世紀，處理不連續量的量子論竟而出現。

像原子一類物質，乃持有高度而基本的不連續性，關於現象的時間經過，亦有其不連續性在的。換句話說，這是指自然在飛躍的意思。在普通世界裡，這是很難想像得到的事。

舉例說，某個人在某時停駐於某某地方，但隔不久，却在離開很遠的地方了。如果真是這樣，必定有其中途經過的地方。但在極微小的世界，自然就有飛躍的現象。從古典物理學看時，這是無法自圓其說的事實。由於那時候愛因斯坦正值二十多歲盛年，故對不連續性便如初生之犢一般，不會視它為畏途，這與四十多歲當時的蒲郎克（Planck）比較時，他就猶豫不決祇好把自然飛躍定至最小限度了。對此，也許有不同的年齡或世代在作祟的吧。

然而，基域却不是無限小的東西。那是把時間方向也一起考慮進去，而具以有限擴展的性質。所以規定基域存在方式之基本方程式，對時間就以某種有限變化，對空間亦然，應作如是規定的想法，從去年起就逐漸在醞釀。

微微世界的認識

在差分方程式的情形，以時間來說，如果經過一秒則變化多少的，對其二分之一秒間變化便不加考慮了。諸如十分之一秒間變化等，都不在考慮之列。假定這裡有個茶碗，那麼人對茶碗的認識係在瞬間裡決定的。實際上在短暫時間內，人的視線就會掃視茶碗的四週。據此結果，我們才能認識茶碗之所以存在。

這就是圖形認識，為此仍須化費一些時間。這裡所說瞬間，乃指有限的時間。加上由於殘像作用，當看完了後，還是留存茶碗的一些殘像。總之，我們作知覺或認識時，雖是短暫仍須經過一段時間的。但此經過的途中，究竟是怎樣？如果把時間澈底細分下去，對茶碗作整個認識的時間就沒

有了。我們認為是一瞬間，但換以微微世界的標準，那就變得極其驚人的長久時間。當茶碗移動時，我們都認為那是連續的，雖然這是主觀而生理的性質，但以自然界存在方式來說，也許正有類似情形存在的吧。

問：請說具體一些好嗎？

湯：最好舉例是：如果這裡有微分方程式，因它過於深奧無法解開時，我們就藉用電子計算機來代答。那時，它是改成差分方程式來求答的。電子計算機所做的，全都是算術。如果是算術原來的方式，那就不能成為微分或積分。

人的腦子實在太奧妙了。因有牛頓和萊布尼茲稀世的天才出現，才能把算術更擴張到一種連續的性質。可是，電子計算機却不能達到那種連續的地步。祇能夠針對非常複雜的算術，以驚人的速度加以處理而已。

因此，對處理時間變化問題時，代替微分方程式求解的方法，係將時間改成非常細小的度數——將一秒作十分之一秒，十分之一秒作百分之一秒；據此，類比型電子計算機（Analog Computer）就成了差分的形式。微分方程式本身雖與差分方程式不同，但等於是差分方程式的一種極限。所謂百分之一秒後如何變化，或不去計較中途變化的情形，乃表示縱然有了任何變化當經百分之一秒後，概不致於發生影響的便可以。

問：那是否表示中途的情形可以置之不理？

湯：反過來說，等於對那裡所有各種各樣差異皆可以承認的意思。解開差分方程式這件事，事實上比微分方程式還擁有更多的解，從很多解當中，找出適當的巧妙加以利用的話，令人困擾的「發散困難」也許可以迎刃而解。可以說，目前已經過了非常艱澀的計算而接近光明在望的地步。

過份停滯的研究

問：在前些時候，針對打破粒子所具對稱性這問題，曾引起各界的很大注目，是這樣嗎？
湯：針對微粒子的相互作用也許失去其相對性一事，由美國的李政道和楊振寧兩博士所提出的觀點，在打破傳統的固定觀念一點上，委實具有很大的意義。可是並不抵觸我在上面所提的基本問題。

最近三十年來，理論物理學一件最不好的趨勢，係在既成的框子內僅祇討論其間有關的各種問題。而對該種對稱性問題，我正想把它連結於微粒的結構上，以增進更多的瞭解。

問：先前說，日本對微粒物理學的研究，在一九四二年曾分成不同的三派；是否在不久將來，他們會合流而形成統一的理論，有此可能嗎？

湯：這種互相間影響，委實很難預料其結果。現在多數人乃以坂田博士的複合理論作基礎從事於研究，這種觀點跟我們原有想法，在某種意義上，也許會匯合一起的吧。

問：總括上述解說，從一九〇〇年至一九二〇年初期，可說是很多獨創性研究出現的時代。以此為契機就產生了原子物理學。經此到一九三〇年代，也就進入微粒物理學的世界。如是而看，目前的微粒物理學，究竟是相當那一時期才對？

湯：這當然是看人如何判斷而有所不同。不過可以斷定說，停滯期間一直會這樣延續，~~已是達~~乎常情了。因此，如果仍然拘泥於相同想法，一再地反來覆去，依然沿着一條延長線行走的話，實在是枉費心機的。老實說，縱然是在某一線上進行，但在某個地方若不加以免躍前進，一定是無法達到更高的地步。

像我這樣性急的，老早以前就作大躍進了。也許過於勇猛，不過這種冒險應該是屬於年青人的本行，但以物理學這行學問為限，已造成使得年青人不感興趣，或者無從着手的一種不利環境，也是事實。

問：謝謝指導！

（譯自「科學朝日」一九六八年十二月號）